

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局
特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類7 H01S 5/22	A1	(11) 国際公開番号 WO00/52796 (43) 国際公開日 2000年9月8日 (08.09.00)
(21) 国際出願番号 PCT/JP00/01308		(74) 代理人 青山 葵, 外(AOYAMA, Tamotsu et al.) 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka, (JP)
(22) 国際出願日 2000年3月3日 (03.03.00)		(81) 指定国 KR, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)
(30) 優先権データ 特願平11/57211 特願平11/157646 特願平11/163499 特願平11/163500	JP JP JP JP	(71) 出願人 日亞化学工業株式会社 (NICHIA CORPORATION)[JP/JP] 〒774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地100 Tokushima, (JP)
(72) 発明者 小崎徳也(KOZAKI, Tokuya) 佐野雅彦(SANO, Masahiko) 中村修二(NAKAMURA, Shuji) 長濱慎一(NAGAHAMA, Shinichi) 〒774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亞化学工業株式会社内 Tokushima, (JP)		(74) 代理人 青山 葵, 外(AOYAMA, Tamotsu et al.) 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka, (JP)
(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT		(81) 指定国 KR, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)
(54) 発明の名称 窒化物半導体レーザ素子		添付公開書類 国際調査報告書 請求の範囲の補正の期限前の公開；補正書受領の際には再公開される。
(57) Abstract A nitride semiconductor laser element enhanced in transverse-mode stability and service life characteristics at a high output so as to be available as a light source for reading from and writing to a large-capacity medium, the element comprising an active layer, a p-side clad layer and a p-side contact layer, all laminated in that order, wherein a stripe-like waveguide area is formed by etching from the p-side contact layer side, which area has a width of 1 to 3 μ m and a depth extending from below a position where the film thickness of the p-side clad layer is 0.1 μ m to above a luminous layer. Specially, a nitride semiconductor laser element improved in an aspect ratio in a far-field pattern, wherein a p-side optical guide layer has a stripe-like projection, a p-type nitride semiconductor layer overlies the projection, and the p-side optical guide layer's projection has a film thickness of up to 1 μ m, the p-side optical guide layer being characterized by being larger in film thickness than an n-side optical guide layer.		

(57)要約

大容量メディアの読み取り、書き取り光源として用いることができるよう、高出力での横モード安定性、寿命特性を向上させた窒化物半導体レーザ素子であって、活性層、p側クラッド層、p側コンタクト層が順に積層され、p側コンタクト層側からエッチングにより、幅が1～3 μmで、深さがp側クラッド層の膜厚が、0.1 μmとなる位置より下で、発光層より上になるストライプ状の導波路領域が形成されている。特に、遠視野像におけるアスペクト比が改善されたものはp側光ガイド層がストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上にp型窒化物半導体層を有し、該p側光ガイド層の突出部の膜厚が1 μm以下である。また、p側光ガイド層がn側光ガイド層の膜厚より厚い特徴を有している。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スー丹
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルク	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルガニア・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴー
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサオ	共和国		TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴー	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ベトナム
CN	中国	IS	イスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴースラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

明細書

窒化物半導体レーザ素子

5 技術分野

本発明は、窒化物半導体レーザ素子に係り、特に実効屈折率型狭ストライプのリッジ構造を有し、光情報処理分野において使用されるキンクのない高出力での連続発振が可能なレーザ素子に関する。

10 背景技術

近年、情報化社会の発展とともに、大量の情報を記憶するファイ装置が必要とされ、特に短波長のレーザ光源は、DVD等の大容量メディアの光源として、また、通信用等の光源として切望されている。本出願人は、窒化物半導体レーザ素子で、波長403.7nmのシングルモードでの室温における連続発振1万時間以上を達成したことを発表した。

上述のように、連続発振を達成した窒化物半導体レーザ素子の次なる課題としては、その実用化、更に応用分野の拡大のため、素子の高出力化が重要な課題であり、その上で安定した連続発振と長寿命を実現しなければならない。

特に、DVD等の大容量光ディスクの光源として用いる半導体レーザ素子は、記録再生を可能にする光出力が必要であり、発振横モードが安定している必要がある。具体的には、記録再生時の光出力として、5mWと30mWでの発振が必要とされ、その発振で電流-光出力特性においてキンクのないものが必要とされる。

しかし、レーザ素子への注入電流を増し、光出力を増加させていくと、素子の電流-光出力特性において、発振開始後線形領域に統いて、横モードが不安定化することによるキンクが一般に存在する。レーザ素子の実用化のためには、レーザ素子を発振開始後から30mWまでの光出力領域において、キンクのない安定した基本単一横モードを得なければならず、更に長時間の発振可能としなければならない。

発明の開示

上記問題点に鑑みて、本発明は光出力の比較的低い領域から高い領域に至る範囲で、基本モードでの横モードが安定した発振がなされ、その範囲で電流-光出力特性においてキンクが発生しない、半導体レーザ素子を提供することを第1の目的とするものであり、その目的は

活性層と、その上に少なくともp側クラッド層と、p側コンタクト層とが少なくとも順に積層され、該p側コンタクト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、

前記エッチングにより設けられたストライプの幅が、狭ストライプ領域1～3 μm の範囲であり、

前記エッチングの深さが、活性層よりも上で、前記p側クラッド層の残り膜厚が0.1 μm となる位置よりも下であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子により達成される。

すなわち、本発明によれば、このようなストライプの幅、深さでもって形成された導波路が、基本モードにおける安定した横モードでの発振を可能にし、広い範囲での光出力においてキンクの発生がなく、長時間の連続発振が可能な半導体レーザ素子を提供することとなる。

好ましくは、前記エッチングにより露出されたストライプの両側面及びその側面に連続した窒化物半導体の平面に、Si酸化物以外の絶縁膜が形成され、該絶縁膜を介して前記ストライプの最上層である前記p側コンタクト層表面に電極が形成されるのがよい。これにより、この窒化物半導体レーザ素子は、正電極とp側クラッド層間の絶縁性が高く、特に光出力が高くなる、すなわち駆動電流高くなるにつれてその効果は顕著となる傾向にあり、リーク電流が少なく信頼性の高い素子となる。

好ましくは、前記ストライプの幅が、1.2～2 μm であるのがよい。この窒化物半導体レーザ素子は、光出力の高い領域、例えば5mWを超える領域において、横モードの安定した屈折率導波構造となり、基本（単一）モードでの発振が更に良好になり、光出力の広い範囲においてキンクの発生のない発振が可能であ

る。

上記Si酸化物以外の絶縁膜として、具体的には、Ti、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlNの内の少なくとも一種からなることにより、高い領域での素子信頼性が確保される。

これらレーザ素子におけるストライプ状の導波路領域は、以下の工程を具備することにより形成されることで、極めて精度良く、歩留まりも良好な窒化物半導体レーザ素子が得られる。その方法とは、第1のp型窒化物半導体を含むp側クラッド層の上に、第2のp型窒化物半導体を含むp側コンタクト層を積層した後、そのp側コンタクト層の表面に、ストライプ状の第1の保護膜を形成する第1の工程と、第1の保護膜を介して、該第1の保護膜が形成されていない部分の窒化物半導体をエッチングして、保護膜直下部分にストライプ状の導波路領域を形成する第2の工程と、第2の工程後、第1の保護膜と異なる材料であって、絶縁性を有する第2の保護膜を、ストライプ導波路の側面及びエッチングされて露出した窒化物半導体層の平面に形成する第3の工程と、第3の工程後、第1の保護膜を除去する第4の工程とを具備するものである。この時、後述するように、第3の保護膜を用いて第1の保護膜を所望の形状に形成しても良い。

また、上述したようなレーザ光源としての応用には、レーザ素子の更なる特性向上、特に光学的な特性の向上、すなわち、レーザ光のビーム形状のアスペクト比、遠視野像の改善、光の漏れ防止など、半導体レーザの光導波路の改善が必要となる。具体的には、上記長寿命のレーザ素子は、リッジ導波路構造の実効屈折率導波型であり、横モードの制御を高い精度で実現する必要がある。リッジ導波路構造では、エッチングの深さ、ストライプの高さなどにより、実効屈折率が変化するため、このような構造の変化は、素子特性に大きな影響を及ぼすこととなる。そこで、本発明の第2の目的はレーザ光のビーム形状、すなわちF. F. P. (ファー・フィールド・パターン)でのアスペクト比の改善にある。光ディスクシステムやレーザプリンタへの応用には、レーザ光を各光学系により補正・調整されるが、上記アスペクト比が大きくなればその補正光学系が大規模になり、その設計、製造、またその光学系を経ることによる損失が大きな問題となる。更に

は、窒化物半導体発光素子では、従来から問題となっていた光の漏れ対策も必要であり、これはレーザ素子においてリップルとして現れ、レーザ素子の応用において、雑音の問題を生み出すこととなるからである。

本発明によれば、上記第2の目的は、活性層と、その上に少なくともp側光ガイド層と、p側クラッド層と、p側コンタクト層とが積層され、該p側コンタクト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、

前記p側光ガイド層が狭ストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上にp型窒化物半導体層を有し、該p側光ガイド層の突出部の膜厚が1μm以下であることにより達成される。

このように、膜厚1μm以下のp側光ガイド層がストライプ状の突出部を有することで、従来では実現できなかった良好な水平横モードの制御が実現され、これにより良好なアスペクト比のレーザ光が得られる。すなわち、このレーザ素子は、基本モードでの連続発振下で、良好なビーム形状のレーザ光が得られるものである。また、前記p側光ガイド層の突出部及び、該突出部上のp型窒化物半導体層が、p型窒化物半導体側からエッチングすることにより形成されたストライプ状のリッジ導波路であることにより、エッチングにより生産性良くリッジ導波路が形成され、またその時のエッチング深さがp側光ガイド層であるため、ビーム形状のレーザ光が得られる。

好ましくは、前記突出部におけるp側光ガイド層の膜厚が、1500Å（オングストローム）以上4000Å以下の範囲であるのがよい。良好なビーム形状のレーザ光、良好な出力特性を同時に実現することができるからである。具体的には、ビーム形状については、水平方向（x方向）のF. F. P. が10°以上と良好な広がりが実現され、アスペクト比も外部の光学系で容易に補正が可能な範囲内に收まり、光情報機器への応用を容易にするため、その効果は大きい。

さらに、前記p側光ガイド層は、前記突出部以外の領域における膜厚が500Å以上1000Å以下の範囲であることにより、良好なストライプ状の導波路領域が形成され、ビーム形状の良好なレーザ素子が、生産性良く得られる。この時、ビーム形状としては、F. F. P. の水平方向が12°～20°の範囲で、ア

スペクトル比が2.0付近、更にはそれを下まわり1.5付近のレーザ素子が得られる。

また、前記突出部のストライプ幅が、1μm以上3μm以下の範囲であることにより、単一横モード発振が良好なレーザ素子が得られる。

5 さらにまた、前記p側光ガイド層において、突出部の高さが100Å以上であることにより、良好なビーム形状有するレーザ素子が得られ、好ましくは、500Å以上であり、その出力において、高出力でも単一モード発振が可能となる。そのため、レーザ素子の応用において必要とされる素子の信頼性を十分に確保される。

10 なお、前記p側光ガイド層は、In_xGa_{1-x}N (0≤x<1) であることにより、より良好な光導波路とことができ、素子特性の良好なレーザ素子となる。

更に、本発明は、別の観点から導波路を構成する光ガイド層に着目して、p側光ガイド層とn側光ガイド層の膜厚を異ならせることによりビーム形状の良好なレーザ素子を得ることを第3の目的とするものである。

15 すなわち、本発明の第3の目的は、活性層と、その両側に少なくともn側、p側光ガイド層と、n側、p側クラッド層と、n側、p側コンタクト層とがそれぞれ積層され、該p側コンタクト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、前記p側光ガイド層が、n側光ガイド層の膜厚より厚い窒化物半導体レーザ素子により達成される。

20 本発明によれば、閾値電流を上昇させることなく、良好な光閉込め効果を実現し、リップルを減少させる。また、製造においては、エッチングによりストライプ状の導波路などを形成する際に、p側光ガイド層の位置までをエッチング深さとする場合には、従来に比べて、エッチング精度を増すことができるため好ましい。

25 前記p側光ガイド層のストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上にp型窒化物半導体層を有し、該p側光ガイド層の突出部の膜厚が1μm以下であるのが好ましい。このことにより、ストライプ状の導波路領域が形成され、良好な横モードの制御が可能となり、具体的には実効的な屈折率差が効果的に形成さ

れるため、取り出される光のビーム形状、特に接合面に平行な方向でのファーフィールド・パターンの光の広がりが従来に比べて向上し、アスペクト比も素子の応用において良好なものとなるからである。更に、このような光学特性の向上は、従来と同程度以上の閾値電流を低く抑え、長寿命での発振を可能とし、従来の発振に関する諸特性も維持される。

前記p側光ガイド層の突出部及び、該突出部上のp型窒化物半導体層が、p型窒化物半導体層側からエッチングすることにより形成されたストライプ状のリッジ導波路であるのが好ましい。p側光ガイド層に形成されるリッジ導波路であることから、良好な閾値電流の低減、長寿命、单一モードでの安定した発振を実現し、且つ横モードの閉じ込めが良好で、アスペクト比の良好なレーザ光得られる。

前記p側光ガイド層の膜厚が、2500Å（オングストローム）以上であるのが好ましい。レーザ光の導波において、より効果的な実効屈折率が働き、水平横モードの閉じ込めがより効果的となり、安定して良好なアスペクト比のレーザ光が得られるからである。

前記p側光ガイド層は、突出部以外の領域における膜厚が、500Å以上1000Å以下であるのが好ましい。安定してレーザ素子の製造され、素子ばらつきの少なく、製造歩留りの向上が実現できるからである。

前記突出部のストライプ幅が、1μm以上3μm以下であるのが好ましい。良好な横モードの制御を可能とし、特に单一モードでの発振を可能とし、高出力でもキンクなどの発生を抑えられることになる。

なお、本発明においても前記p側光ガイド層は、In_xGa_{1-x}N（0≤x<1）であることにより、良好な光導波路形成されるので、好ましい。

更にまた、本発明は、上記本発明に係るレーザ素子において更に出力及び素子信頼性の向上を図ることを第4の目的とするものである。

本発明の第4の目的は活性層に近接する側からキャリア閉じ込め用の第1クラッド層と光閉じ込め用第2クラッド層を設け、第1クラッド層と第2クラッド層との間に光ガイド層を設ける半導体レーザ素子に対し上記本発明の構造を適用するものであり、活性層と、その上に少なくともp側第1クラッド層と、p側光ガイド層と、p側第2クラッド層と、p側コンタクト層とが積層され、該p側コンタ

クト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、

前記p側光ガイド層が狭ストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上にp型窒化物半導体層を有し、該p側光ガイド層の突出部の膜厚が $1 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

前記p側第1クラッド層がキャリア閉じ込め層であって、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < y < 0.5$) から成り、前記p側第2クラッド層が光閉じ込め層であって $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < z < 0.5 : y > z$) から成るが、特に前記p側第1クラッド層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < y < 0.35$) からなるのが好ましい。また、前記p側第1クラッド層が少なくとも2層からなり、第1層が窒素雰囲気で形成された $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ から成り、第2層が水素雰囲気で形成された $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ から成るのが好ましい。

図面の簡単な説明

Fig. 1は、本発明の第1実施形態の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図である。

Fig. 2は、本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図である。

Fig. 3A～Gは、本発明の方法の各工程を説明する模式断面図である。

Fig. 4は、比較のために示すレーザ素子の模式断面図である。

Fig. 5は、本発明の一実施例に係るレーザ素子の電流一光出力特性図である。

Fig. 6は、本発明の一実施例に係るレーザ素子の劣化による駆動電流変化を示す図である。

Fig. 7は、本発明におけるストライプ幅と単一横モード発振との関係を示す図である。

Fig. 8は、本発明におけるエッチング深さと単一横モード発振との関係を示す図である。

Fig. 9は、本発明におけるエッチング深さと駆動電流との関係を示す図である。

F i g. 10 は、本発明におけるエッチング深さと素子寿命との関係を示す図である。

F i g. 11 は、本発明の第2実施形態に係るレーザ素子を説明する模式図である。

5 F i g. 12 は、本発明のレーザ素子におけるエッチング深さと素子特性の関係を説明する図面である。

F i g. 13 は本発明の変形例1に係るレーザ素子の模式断面図である。

F i g. 14 は本発明の変形例2に係るレーザ素子の模式断面図である。

F i g. 15 は本発明の変形例3に係るレーザ素子の模式断面図である。

10 F i g. 16 は本発明の変形例4、5に係るレーザ素子の模式断面図である。

F i g. 17 は、本発明の第2実施形態の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図である。

15 F i g. 18 は、本発明の第3実施形態の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図である。

F i g. 19 A～G は、本発明の第2及び第3実施形態のレーザ素子の製造方法の各工程を示す模式断面図である。

F i g. 20 は、本発明の第3実施形態に係るレーザ素子を説明するための模式図である。

20 発明を実施するための最良の形態

第1実施形態

本発明においてストライプ状の導波路領域を形成するためのエッチングとは、例えばF i g. 1 の断面図で示すようなリッジ導波路を形成するエッチングのことであり、p側クラッド層、p側コンタクト層以下詳しく述べる。

25 本発明の窒化物半導体レーザ素子は、活性層の上に、少なくともp側クラッド層、p側コンタクト層が順に積層されたものであって、p側コンタクト層側からエッチングすることでストライプ状の導波路領域が形成されたものである。

本発明において活性層とp側クラッド層との間には、特に何も設けられていない必要はないが、通常後述する実施例に示すように、ガイド層、及び／又はキャッ

5 プ層（クラッド層と別個に設けられる場合はキャップ層はキャリア閉じ込め用第1クラッド層となり、上記クラッド層は光閉じ込め用第2クラッド層を意味する）などが設けられる。活性層の上に直接p側クラッド層が形成されている場合には、p側クラッド層と活性層との界面からp側クラッド層の膜厚が0.1μmとなる位置の間で、エッティングしてストライプ状の導波路領域が設けられる。また、p側クラッド層と活性層との間に、上述したガイド層、キャップ層などの層が設けられている場合には、p側クラッド層の膜厚が0.1μmとなる位置より下で、発光層よりも上であれば、p側クラッド層と活性層との間にある層までエッティングされていても良い。この時、Fig. 10に観るように、寿命特性において、活性層に近い位置で急激に素子寿命が悪化する場合には、それを回避できる深さで導波路領域が形成されることがよく、図のような素子構造では、p側キャップ層に達しない深さで導波路領域を形成する。また、活性層としては、单一若しくは多重量子井戸構造からなる活性層であっても良く、この層にはn型若しくはp型不純物がドープされていても良い。組成としては、活性層若しくはそれを構成する量子井戸構造の井戸層としてInGaNが好ましく用いられる。

10 (p側クラッド層)

20 本発明においてp側クラッド層としては、光を閉じ込めるのに十分な屈折率差が設けられていれば良く、Alを含む窒化物半導体層が好ましく用いられる。また、この層は、单一若しくは多層膜であっても良く、具体的には実施例に示すように、AlGaNとGaNとを交互に積層した超格子構造であっても良い。さらに、この層は、p型不純物がドープされていても良いし、アンドープであっても良い。なお、発振波長が長波長の430～550nmのレーザ素子では、このクラッド層はp型不純物をドープしたGaNが好ましい。

25 (p側コンタクト層)

本発明においてp側コンタクト層は、p側クラッド層の上に形成され、電極との良好なオーム接觸が得られるように形成される。

本発明のレーザ素子において、ストライプの幅が1～3μmの範囲に調整することで、基本（单一）モードで安定した横モードでの発振が可能となる。ストライプの幅が、1μm未満であるとストライプの形成が困難となり、3μm以上で

あると横モードが多モードになる傾向にあり、上述の範囲外にあると安定した横モードにはならない傾向にある。好ましくは1. 2～2 μ mの範囲に調整することで、更に光出力の高い領域での横モードの安定性が増加する。

以下、本発明における導波路領域について詳しく説明する。ストライプ状の導波路領域を形成する際のエッチング深さとしては、活性層よりも上で、前記p側クラッド層の活性層側からの膜厚が0. 1 μ mとなる位置よりも下であることがある。詳しくは、エッチングによりストライプ導波路領域が形成され、そのストライプの両側面と連続した窒化物半導体平面の位置がエッチング深さを指すものである。このエッチングにより露出された窒化物半導体平面が、膜厚方向において、p側クラッド層の膜厚が0. 1 μ mになる位置よりも下（活性層方向）で、活性層よりも上（p側コンタクト層方向）に位置する様にすることである。すなわち、このエッチングは、p側クラッド層の下側端面からp側コンタクト層方向に0. 1 μ mとなる位置よりも深く（活性層方向）、活性層が露出されない深さでなされ、ストライプ状の導波路領域が形成される。なお、本発明において、p側クラッド層の膜厚が0. 1 μ mとなる位置より下とは、0. 1 μ mとなる位置を含むものである。このように、エッチングにより活性層に達しない深さで導波路が形成されることにより、素子寿命が大幅に向上し、特に光出力の大きい領域、具体的には5 mWを超えるような領域において顕著であり、長時間の発振が可能となるからである。また、p側クラッド層の膜厚方向（p側コンタクト層方向）0. 1 μ mよりも活性層側まで、エッチングして上記ストライプを形成することにより、光出力の広い範囲において、具体的には数十mWまでの範囲において、安定した横モードでの発振ができ、この範囲でもってキンクのない電流-光出力特性が得られる。

上記ストライプ状の導波路領域は、上述のストライプの幅、エッチング深さにある本発明のレーザ素子は、レーザの発振開始から光出力の比較的大きい領域まで、キンクの発生のない安定した単一基本横モードでの発振が可能であり、さらに素子寿命も出力5 mWで一万時間を超えるなど実用の可能な程度のもの、また30 mWで千時間を超えるものがあるなど良好な寿命特性のレーザ素子となる。

上記窒化物半導体平面は、ストライプ状の導波路領域形成時のエッチングによ

り露出されるものであり、その露出面はストライプ側面に連続して窒化物半導体平面が形成される。従って、上記窒化物半導体平面の位置は、ストライプ状の導波路領域形成時のエッチング深さを示すものである。

また、エッチング深さを表す上述したp側クラッド層の膜厚が0.1μmとなる位置とは、p側クラッド層の（活性層側）下端面からp側コンタクト層方向に0.1μmの位置であり、p側クラッド層の成長を始める表面から膜厚0.1μmとなる位置のことであり、上記導波路領域におけるp側クラッド層の膜厚が0.1μm以下となる位置に上記露出された窒化物半導体平面が形成されることである。この時、p側クラッド層において、活性層とp側クラッド層との間の層は、特に限定されず、両者の層が接していても良く、後述する実施例に示すようにp側キャップ層（キャリア閉じ込め用第1クラッド層）、p側光ガイド層等を設けてあるような、離間した構造であっても良い。

ここで、活性層は、量子井戸構造であっても良く、その場合単一量子井戸、多重量子井戸のどちらでも良く、この時活性層よりも上に位置するとは、量子井戸構造を構成し最後に形成される障壁層／井戸層に続いて形成される層との間に少なくとも達しない深さである。

本発明における窒化物半導体発光素子の共振器長としては、400～900μmの範囲であれば、前後のミラーの反射率を制御することで、駆動電流を低くすることができ、好ましい。

更に、本発明の窒化物半導体レーザ素子は、Si酸化物以外の絶縁膜を前記エッチングにより露出されたストライプの両側面及びその側面に連続した窒化物半導体の平面に形成し、該絶縁膜を介して前記ストライプの最上層である前記p側コンタクト層表面に電極が形成されていることで信頼性の高いものとなる。これは、通常用いられるSiO₂の絶縁膜では、十分に絶縁性が確保された状態での形成が困難な傾向にあったからである。このため得られる素子は、閾値の上昇などがみられ、素子の信頼性を損ねるものがあった。しかし、上記Si酸化物以外の絶縁膜を用いることで、このような問題が解決され、更にまた、上述した横モードの安定性にも好適に影響する傾向にある。Si酸化物以外の絶縁膜として、具体的には、Ti、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少な

くとも一種の元素を含む酸化物、BN、SiC、AINの内の少なくとも一種からなる絶縁膜とすることで、良好な素子信頼性のレーザ素子が得られる。更に、後述する方法でストライプが形成されることにより、上述した範囲のストライプ状導波路が精度良く形成される。この時、絶縁膜の厚さとしては、500～5000Å程度であれば十分である。

以上のように、本発明のストライプ状の導波路領域を有するレーザ素子とすることで、良好な素子特性となるものであり、更にそのストライプは以下の方法により形成することで、本発明のレーザ素子におけるストライプ状の導波路領域が精度良く、且つ歩留まり良く製造できる。以下、その製造方法について詳述する。

ここで、本発明において、エッチングにより形成されるストライプの形状は、特に限定されず、断面図においてFig. 1に示すようにエッチングが深くなるに伴い幅が広がる順メサ形状であっても良いし、これとは逆に幅が狭くなる逆メサ形状、若しくは幅がほぼ一定の形状のどれでも良い。好ましくは、順メサ形状にすることであり、こうすることで横モードが安定して基本モードになる傾向にある。

また、Fig. 1, 2に示すように、異種基板の同一面側に正・負一対の電極を形成する場合には、負電極を形成するn側コンタクト層を露出させるため、その深さまでエッチングを行い、その後ストライプ状の導波路領域を形成するエッチングを行う。

20 (ストライプ状導波路領域の形成方法)

Fig. 3は、本発明の電極形成方法の工程を説明するための、窒化物半導体ウェーハを示す模式的な断面図であり、エッチングにより形成したストライプ導波路に対し垂直方向、即ち共振面に対して平行方向で切断した際の図を示している。本発明の第1の工程ではFig. 3Cに示すように、最上層にあるp側コンタクト層13の上にストライプ状の第1の保護膜61を形成する。

第1の保護膜61は、特に絶縁性は問わず、窒化物半導体のエッチング速度と差がある材料であればどのような材料でも良い。例えばSi酸化物(SiO₂を含む)、フォトレジスト等が用いられ、好ましくは、後に形成する第2の保護膜との溶解度差を設けるために、第2の保護膜よりも酸に対して溶解されやすい性

質を有している材料を選択する。酸としてはフッ酸を好ましく用い、そのためフッ酸に対して溶解しやすい材料として、S i 酸化物を好ましく用いる。第1の保護膜のストライプ幅 (W) としては $3 \mu m \sim 1 \mu m$ に調整する。第1の保護膜6 1のストライプ幅が、およそ導波路領域のストライプ幅に相当する。

5 F i g. 3 A、Bは前記第1の保護膜6 1を形成するための具体的な工程を示すものである。即ち、F i g. 3 Aに示すように、第1の保護膜6 1をp側コンタクト層1 3の表面のほぼ全面に形成し、次にその第1の保護膜6 1の上にストライプ状の第3の保護膜6 3を形成する。その後、F i g. 3 Bに示すように、その第3の保護膜6 3をつけたまま、第1の保護膜6 1をエッチングした後、第10 第3保護膜6 3を除去すれば、F i g. 3 Cに示すようなストライプ状の第1の保護膜6 1を形成することができる。なお第3の保護膜6 3をつけたままエッチングガス、若しくはエッチング手段等を変えて、p側コンタクト層1 3側からエッチングすることもできる。

15 またF i g. 3 Cに示すようなストライプ状の第1の保護膜6 1を形成するにはリフトオフ法を用いることもできる。即ち、ストライプ状の孔が開いた形状のフォトレジストを形成し、そのフォトレジストの上から全面に第1の保護膜を形成し、その後フォトレジストを溶解除去することにより、p側コンタクト層と接觸している第1の保護膜のみを残す手段である。なおリフトオフ法でストライプ状の第1の保護膜を形成するよりも、前記F i g. 3 A、3 Bのようにエッチングにより形成する方が端面がほぼ垂直で形状が整ったストライプが得られやすい傾向にある。

20 次に本発明の第2の工程ではF i g. 3 Dに示すように、第1の保護膜6 1を介して、該第1の保護膜6 1が形成されていない部分のp側コンタクト層1 3からエッチングして、第1の保護膜6 1の直下部分に保護膜の形状に応じたストライプ状の導波路領域を形成する。エッチングを行う場合、エッチストップをどの位置にするかでレーザ素子の構造、特性が異なってくる。

25 エッチング手段としては、例えばR I E (反応性イオンエッチング) のようなドライエッチングを用いる場合、第1の工程で多用するS i 酸化物よりなる第1の保護膜をエッチングするには、C F₄のようなフッ素化合物系のガスを用いる

ことが望ましく、第2の工程では窒化物半導体をエッチングするには他のIII—V族化合物半導体で良く用いられている、 Cl_2 、 CCl_4 、 SiCl_4 のような塩素系のガスを用いると、 Si 酸化物との選択比が大きくできるため望ましい。

次に第3の工程では、Fig. 3Eに示すように、第1の保護膜61と異なる材料であって、絶縁性を有する第2の保護膜62を、ストライプ状の導波路の側面と、エッチングされて露出した窒化物半導体層（Fig. 3Eでは、p側クラッド層12）の平面とに形成する。第1の保護膜61は第2の保護膜62と異なる材料よりなるため、エッチング手段に対して、第2の保護膜と選択性を有している。そのため、後に第1の保護膜61のみを、例えばフッ酸で除去すると、次のFig. 3Fに示すような、p型クラッド層12の表面（エッチングにより露出された窒化物半導体の平面）とストライプの側面との両方に連続した第2の保護膜62を形成することができる。第2の保護膜を連続して形成することにより、高い絶縁性を保持できる。しかも第1の保護膜61の上から連続して第2の保護膜62を形成すると、p側クラッド層12の上に均一な膜厚で形成できるため、膜厚の不均一が起こりにくく、膜厚の不均一に起因する電流の集中も発生しない。なお、第2の工程においてエッチストップをp側クラッド層12の途中としているため、Fig. 3Eでは第2の保護膜62はp側クラッド層の平面に形成されるが、エッチストップをp側クラッド層12よりも下にすると、当然第2の保護膜はそのエッチストップした窒化物半導体層の平面に形成されることは言うまでもない。

第2の保護膜の材料としては SiO_2 以外の材料、好ましくはTi、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、 SiN 、 BN 、 SiC 、 AlN の内の少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でもZr、Hfの酸化物、BN、SiCを用いることが特に好ましい。これらの材料はフッ酸に対しても多少溶解する性質を有しているものもあるが、レーザ素子の絶縁層にすれば埋め込み層として SiO_2 よりもかなり信頼性が高くなる傾向にある。またPVD、CVDのような気相で成膜した酸化物系薄膜は、その元素と酸素とが当量反応した酸化物となりにくいので、酸化物系薄膜の絶縁性に対する信頼性が不十分となりにくい傾向にあるが、本発明で選択した前記元

素のPVD、CVDによる酸化物、BN、SiC、AINはSi酸化物よりも絶縁性に対して信頼性に優れている傾向にある。しかも酸化物の屈折率を窒化物半導体よりも小さいもの（例えばSiC以外のもの）を選択すると、レーザ素子の埋め込み層として非常に都合がよい。さらにまた、第1の保護膜61をSi酸化物とすると、Si酸化物に対して、フッ酸による選択性を有しているため、Fig. 3Eに示すようにストライプ導波路の側面、そのストライプが形成されている平面（エッチング層）、及び第1の保護膜61の表面に連続して形成すると、リフトオフ法により、第1の保護膜61のみを除去すると、Fig. 3Fに示すような、平面に対して膜厚が均一な第2の保護膜62を形成することができる。
10

次に本発明の第4の工程では、Fig. 3Fに示すように、第1の保護膜61を除去する。その後に、次にFig. 3Gに示すように、第2の保護膜62とp側コンタクト層13の上に、そのp側コンタクト層と電気的に接続したp電極を形成する。本発明では、先に第2の保護膜を先に形成しているために、このp電極を形成する際に、ストライプ幅の狭いコンタクト層のみに形成する必要がなく、大面积で形成できる。しかも、オーム接觸を兼ねた電極材料を選択してオーム接觸とボンディング用の電極を兼ねた電極とと一緒に形成できる。
15

窒化物半導体レーザ素子では、ストライプ状の導波路領域を形成する場合、ウエットエッチングではエッチングが難しいため、ドライエッチングが用いられる。
20 ドライエッチングでは、第1の保護膜と窒化物半導体との選択性が重要視されるため、第1の保護膜としてSiO₂が用いられる。しかしながらSiO₂をエッチング層の平面に形成する第2の保護膜にも使用することは、絶縁性が不十分であり、また第1の保護膜と同一材料であるので、第1の保護膜のみを除去することが困難となる。そのため、本発明では、第2の保護膜をSiO₂以外の材料とすると、第1の保護膜との選択性が得られる、しかも第2の保護膜形成後は窒化物半導体をエッチングしないため、第2の保護膜は、窒化物半導体とのエッチング速さに関して、問題とされない。
25

以下、本発明の一実施形態をFig. 17に示す、以下、この具体例をもとに本発明について詳細に説明する。本発明の窒化物半導体レーザ素子は、具体的には基板上に、n型窒化物半導体、活性層、p型窒化物半導体を積層したもので、p型窒化物半導体側からエッチングによりストライプ状のリッジ構造を有するものである。

5

(ストライプ状の導波路領域)

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、活性層の上部であって、p側光ガイド層から上方に形成されたリッジ導波路を有するものである。すなわち、基板上に、n型窒化物半導体からなるn側光ガイド層と、活性層と、p型窒化物半導体からなるp側光ガイド層とが積層された構造で、p側光ガイド層がストライプ状の突出部を有し、ストライプ状の導波路領域を有するものである。さらには、その突出部の上にp型窒化物半導体層が形成されたレーザ素子である。本発明のレーザ素子は、具体的にはこのようにストライプ状の導波路領域を有するものであり、屈折率導波型のレーザ素子である。

10

(エッチング深さ)

本発明のレーザ素子は、具体的には、n型窒化物半導体からなるn側光ガイド層、活性層、p型窒化物半導体からなるp側光ガイド層、更にその上にp型窒化物半導体層を積層した後、p型窒化物半導体層側からエッチングにより、p型窒化物半導体層、p側光ガイド層の一部を除去して、ストライプ構造を形成する。このとき、p側光ガイド層の突出部の高さは、エッチングする深さにより決定されるため、後述するように、従来に比べてエッチング深さの制御性が向上する。また、エッチングの深さは、活性層に達しない深さであることが重要であり、本発明においてはp側光ガイド層の位置まで、エッチングする。

20

本発明において、上記p側光ガイド層の突出部、若しくはストライプ状のリッジ導波路の形状としては、順メサ型、逆メサ型形状に限定されないが、順メサ形状とすることで、良好な横モードの制御が実現できる傾向にあり好ましい。

25

(エッチング手段)

上述したp側光ガイド層若しくはリッジ導波路の形成等、窒化物半導体をエッチングするには、ウェットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、例え

ばドライエッチングとして、反応性イオンエッチング（R I E）、反応性イオンビームエッチング（R I B E）、電子サイクロトロンエッチング（E C R）、イオンビームエッチング等の装置があり、いずれもエッチングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッチングすることができる。

5 (光ガイド層)

n 側光ガイド層と p 側光ガイド層とで活性層を挟み込む構造でもって、導波路を成すものである。本発明のレーザ素子は、 p 側光ガイド層にストライプ状の突出部が設けられることにより、ストライプ状の導波路領域を有するものである。

本発明において、 p 側光ガイド層は、ストライプ状の突出部を有するものであり、具体的にはこの突出部の上に、 p 型窒化物半導体層が形成され、レーザ素子を形成するものである。具体的には、 p 側光ガイド層でリッジ導波路を形成したレーザ素子である。また、この突出部は上述したように、具体的には p 型窒化物半導体層側からエッチングすることにより形成され、 p 側光ガイド層の膜内で、エッチングストップすることで、形成する。本発明においては、この p 側光ガイド層がストライプ状の突出部を有することで、更にその膜厚（突出部における）が、 $1 \mu m$ 以下である。ここで、膜厚は、 p 側光ガイド層を成長させる際の膜厚に当たり、 p 側光ガイド層形成後に上記エッチングにより突出部を形成する場合には、所定の膜厚の p 側光ガイド層の一部を除去して形成するため、突出部の膜厚が p 側光ガイド層の膜厚となる。この時、 p 側光ガイド層が $1 \mu m$ を超える膜厚であると、閾値が大幅に向上し、レーザ発振が極めて困難となり、例え発振しても素子寿命の極めて短いレーザ素子となる。更に好ましくは、 p 側光ガイド層の膜厚、すなわち突出部の膜厚を、 1500 \AA 以上 4000 \AA 以下の範囲とすることである。なぜなら、 1500 \AA より薄いと、レーザ光のF. F. P. が良好とはならず、また 4000 \AA を超える膜厚であると、発振しきい電流が上昇する傾向にあるからである。具体的には、 1500 \AA より薄いと、水平横モードの制御が十分になされず、そのF. F. P. は、 x 方向に 10° 以下のビーム形状となり、結果として、アスペクト比が 2.0 を大きく上まわり、 3.0 付近若しくはそれを超えるものとなる。

また、エッチングにより、上記リッジ導波路、突出部を形成する際には、生産

性も考慮しなければならない。これは、エッティングの深さがますにつれて、その精度、例えばウェーハ内の素子間のばらつきが多く発生するようになり、これをそれを回避する必要がある。具体的には、0.7 μ mを超える深さでエッティングして、上記ストライプ状の突出部（リッジ構造）を形成すると、上記問題が急激に発生する傾向にあり、これよりも浅くエッティングすることが好ましい。すなわち、これは、本発明において、リッジの高さを調整するものであり、上記範囲内でレーザ素子を形成することが好ましい。ここで、リッジの高さとは、具体的には、上記突出部以外の領域におけるp側光ガイド層の平面、すなわちエッティングにより露出され突出部の側面に連続した平面から、突出部及びその上に形成されたp型窒化物半導体層の膜厚方向での高さであり、突出部の高さとは、その平面から突出部の上面までの高さであり、また、p型窒化物半導体層の最上面がエッティング開始位置である。

（突出部の高さ）

更に、本発明の上記p側光ガイド層において、突出部の高さを高くすると、発振しきい電流が下がる傾向にあり、好ましい。すなわち、これは、エッティングが深くなるにつれて、出力の安定性を増加させるものであり、レーザ素子の応用に多大に寄与するものである。すなわち、出力が増加しても、单一モードでの安定した発振を実現し、発振しきい電流が良好なため素子劣化を大幅に抑制し、長寿命での連続発振を実現する効果がある。

以上に加えて、エッティングにより形成する場合には、エッティングにより露出され、形成される表面、すなわちp側光ガイド層の突出部以外の領域における上面の平坦性も考慮することが、重要となる。これは、エッティングにより、上記ストライプ状の突出部を形成する際に、そのエッティングにより露出されたp側光ガイド層の表面の膜厚方向における位置が、多少のばらつきがあるため、それが素子間のばらつきを生みだす原因となるため、それを考慮する必要がある。つまり、比較的微小な上記ストライプ上の突出部を形成すると、ウェーハ全体でその露出したp側光ガイド層の上面をみると、ウェーハ内でその深さ（突出部以外の領域におけるp側光ガイド層の膜厚）にばらつきが生まれ、これが原因で、得られるレーザ素子の出力特性、光学特性にばらつきが発生する。具体的には、p側光ガ

イド層を膜厚500Å以上、好ましくは500Å以上1500Å以下の範囲残す深さでエッチングして、上記p側光ガイド層の突出部を形成することである。これは、膜厚500Å以上の残る深さであると、p側光ガイド層よりも深くエッチングされることが、ほぼなくなり、良好な精度で突出部が形成される。また、1500Å以上であると、上述した発振しきい電流の上昇がみられ、さらに横モードの制御性に劣る傾向にある。更に好ましくは、500Å以上1000Å以下とすることで、閾値での発振、横モードの制御が良好なレーザ素子となり、好ましい。

本発明において、p側光ガイド層の組成としては、特に限定されるものではなく、窒化物半導体からなり、導波路形成に十分なエネルギー・バンドギャップを有していれば良く、単一の膜、多層膜のどちらでも良い。例えば、波長370～470nmではアンドープのGaNを用い、それよりも長波長ではInGaN/GaNの多層膜構造を用いることである。

また、本発明において、n側光ガイド層と、p側光ガイド層とで活性層を挟み込む構造により構成される導波路は、その膜厚の総和、すなわち両ガイド層で挟まれる領域の膜厚が、好ましくは6000Å以下、更に好ましくは、4500Å以下とすることである。なぜなら、上記導波路の膜厚の総和が、6000Åを超えると急激に発振しきい電流が増大し、基本モードでの連続発振が極めて困難になるためであり、4500Å以下であると、そのような発振しきい電流の上昇は抑えられ、基本モード、且つ長寿命での連続発振が可能である。

本発明において、n側光ガイド層は特に限定されるものでないが、具体的には、p側光ガイド層とほぼ同じ膜厚で、n側光ガイド層を形成し、両光ガイド層で活性層を挟み込む構造とすることである。また、n側光ガイド層として、GaN、InGaNを成長させることができが望ましく、具体的にはアンドープのGaN、活性層に近づくに従いIn混晶比を小さくしたInGaNと、GaNとを交互に積層した多層膜等がある。ここで、InGaNとはGaNにInが含まれる三元混晶を指す。

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、上記p側光ガイド層の上に形成されるp型窒化物半導体層としては、具体的には、実施例に示すようにp側クラッ

ド層、p側コンタクト層などを積層したものである。そのため、本発明では、p側光ガイド層の突出部の上に形成されたp型窒化物半導体層は、ストライプ状に形成されており、リッジ導波路を形成する。

本発明において、光ガイド層と活性層との間に、キャップ層を形成しても良い。
5 例えば、活性層とp側光ガイド層との間に、p型不純物をドープしたAl_xG_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなるp側キャップ層を形成することである。この時、ストライプ状のリッジ導波路を、p側キャップ層に達する深さで形成されると、電子寿命が低下する傾向にあり好ましくなく、このような場合にも上述したように、p側光ガイド層にストライプ状の突出部を設けるれている構造、更にはリッジ導
10 波路を有することが好ましい。

本発明において、リッジ導波路のストライプ幅、若しくはp側光ガイド層においては突出部のストライプ幅が、1 μm以上3 μm以下の範囲にあると、良好な横モードの制御が可能となる。これは、上記範囲であると、単一横モードでの発振が比較的良好に実現され、また上記p側光ガイド層でリッジ導波路が形成され
15 ることで、安定、且つ精度の良いビーム形状の制御（良好なF. F. P.）を実現することができる。この時、1 μm未満であると、ストライプ状のリッジ構造若しくは上記突出部の形成が製造上困難となり、歩留りが低下し、3 μmを超えると水平横モードの制御が困難になる傾向を示す。

本発明における窒化物半導体レーザ素子を構成する窒化物半導体としては、In_xAl_yG_{1-x-y}N ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x + y \leq 1$) で表され、窒化ガリウムの他に、3元系、4元系の混晶などがある。本発明では、上記、基板上に積層するレーザ素子構造を、実施例で示すように、上記組成式で表される窒化物半導体からなるものとすることが、上述したレーザ光の横モード、ビーム形状の制御が最も好ましくなる傾向にある。

25 ここで、F. F. P. における水平方向（x方向）とは、Fig. 11に示すように接合面（若しくはp-n接合面）に平行な方向（図中の矢印（d）方向）を示すものであり、その方向における横モードを水平横モードと記す。

Fig. 11は、本発明におけるレーザ素子の光学的な特性、特に、出射面におけるスポット形状、遠視野像（F. F. P.）（A）を説明する模式図である。

従来は、出射面におけるスポット形状 (a) が、接合面に平行な方向に広がっており、F. F. P. での x 方向 (d) は、10° 以下と狭く、アスペクト比も悪いものであった。しかし、本発明では、図に示すように、スポット形状の長手方向は従来と同様に水平方向にあるが、その長手方向の広がりは、狭くなり、F. 5 F. P. (A) の x 方向は従来より広く、具体的には 12° ~ 20° と良好で、アスペクト比も 2.0 前後と良好なものとなる。このように、出力特性、素子信頼性を悪化させずに、光学特性を改善するのは、上述したように、ストライプ状の突出部が設けられた p 側光ガイド層により、良好な実効屈折率を有するストライプ状の導波路領域がレーザ素子に形成されたことによるものである。更にまた、 10 上述したように、従来に比べて、p 側光ガイド層の膜厚、若しくはそれに n 側光ガイド層の膜厚を加えた両ガイド層のトータル膜厚が増すことにより、図における接合面に垂直な方向 (y 方向) のビーム広がりが、回折効果の減少により抑制され、このことも本発明のレーザ素子における光学特性、特にアスペクト比の改善に寄与している。すなわち、上述したような水平横モードの制御だけでなく、 15 従来に比べて、F. F. P. での y 方向の光の広がりが抑えられたことで、従来のような垂直方向に扁平したファー・フィールド・パターンからより真円に近づいたレーザ光が得られる。

第 3 実施形態

20 以下、本発明の一実施形態を具体例を用いて説明する。本発明の窒化物半導体レーザ素子は、具体的には基板上に、n 型窒化物半導体からなる n 側光ガイド層と、活性層、p 型窒化物半導体からなる p 側光ガイド層とを積層した構造を有し、Fig. 17 に示す第 2 実施形態と、p 側光ガイド層の膜厚が n 側光ガイド層の膜厚より厚い以外は同様である。

25 本発明の窒化物半導体レーザ素子は、活性層を p 側光ガイド層と n 側光ガイド層とで挟み込む構造で導波路を構成し、p 側光ガイド層が n 側光ガイド層の膜厚より厚いことで、良好なレーザ光を有するものである。これは、活性層を挟む p 側光ガイド層と n 側光ガイド層の膜厚が異なることにより、膜厚方向において光分布が利得分布からずれ、従来とは横モードの制御において変化を持たせること

により、良好なレーザ光を取り出すことにある。また、光の閉じ込めにおいても、その効果が増し、リップルの発生を抑制する。

(ストライプ状の導波路領域)

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、上述した光ガイド層の膜厚が活性層を挟んで非対称であることに加えて、ストライプ状の導波路領域を設けることでより横モードの制御された、屈折率導波型の構造を有するものである。すなわち、基板上に、n型窒化物半導体からなるn側光ガイド層と、活性層と、p型窒化物半導体からなるp側光ガイド層とが積層された構造で、p側光ガイド層がストライプ状の突出部を有し、ストライプ状の導波路領域を有するものである。さらには本発明のレーザ素子は、その突出部の上にp型窒化物半導体層が形成されたレーザ素子である。具体的にはこのようにストライプ状の導波路領域を有するものであり、屈折率導波型のレーザ素子である。

(エッチング深さ)

上記本発明のレーザ素子は、具体的には、n型窒化物半導体からなるn側光ガイド層、活性層、p型窒化物半導体からなるp側光ガイド層、更にその上にp型窒化物半導体層を積層した後、p型窒化物半導体層側からエッチングにより、p型窒化物半導体層、p側光ガイド層の一部を除去して、ストライプ構造を形成する。このとき、p側光ガイド層の突出部の高さは、エッチングする深さにより決定されるため、後述するように、従来に比べてエッチング深さの制御性が向上する。また、エッチングの深さは、活性層に達しない深さであることが重要であり、本発明においてはp側光ガイド層の位置まで、エッチングする。

本発明において、上記p側光ガイド層の突出部、若しくはストライプ状のリッジ導波路の形状としては、順メサ型、逆メサ型形状に限定されないが、順メサ形状とすることで、良好な横モードの制御が実現できる傾向にあり好ましい。

(エッチング手段)

上述したp側光ガイド層若しくはリッジ導波路の形成等、窒化物半導体をエッチングするには、ウエットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、例えばドライエッチングとして、反応性イオンエッチング（R I E）、反応性イオンビームエッチング（R I B E）、電子サイクロトロンエッチング（E C R）、イ

オンビームエッティング等の装置があり、いずれもエッティングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッティングすることができる。

(光ガイド層)

n側光ガイド層とp側光ガイド層とで活性層を挟み込む構造でもって、導波路を成すものである。本発明のレーザ素子は、p側光ガイド層にストライプ状の突出部が設けられることにより、ストライプ状の導波路領域を有するものである。

(p側光ガイド層)

本発明において、活性層を挟むn側光ガイド層、p側光ガイド層は、その膜厚が異なり、p側光ガイド層の膜厚を厚くすることにある。更に好ましくは、p側光ガイド層は、ストライプ状の突出部を有するものあり、具体的にはこの突出部の上に、p型窒化物半導体層が形成され、ストライプ状の導波路領域を有するレーザ素子を形成するものである。具体的には、p側光ガイド層でリッジ導波路を形成したレーザ素子である。また、この突出部は上述したように、具体的にはp型窒化物半導体層側からエッティングすることにより形成され、p側光ガイド層の膜内で、エッティングストップすることで、形成する。ここで、p側光ガイド層の膜厚は、p側光ガイド層を成長させる際の膜厚に当たり、p側光ガイド層形成後に上記エッティングにより突出部を形成する場合には、所定の膜厚のp側光ガイド層の一部を除去して形成するため、突出部の膜厚がp側光ガイド層の膜厚となる。この時、p側光ガイド層が $1 \mu m$ を超える膜厚であると、閾値が大幅に向上し、レーザ発振が極めて困難となり、例え発振しても素子寿命の極めて短いレーザ素子となるため、好ましくはp側光ガイド層の膜厚を $1 \mu m$ 以下とする。更に好ましくは、p側光ガイド層の膜厚、すなわち突出部の膜厚を、 1500 \AA 以上 5000 \AA 以下の範囲とすることである。なぜなら、 1500 \AA より薄いと、レーザ光のF. F. P. が良好とはならず、また 5000 \AA を超える膜厚であると、発振しきい電流が上昇する傾向にあるからである。具体的には、 1500 \AA より薄いと、水平横モードの制御が十分になされず、そのF. F. P. は、x方向に 10° 以上のビーム形状となり、結果として、アスペクト比が 2.0 を超えるものとなる。この時、特に本発明において、p側光ガイド層の膜厚が、 2500 \AA 以上になると、活性層を挟むガイド層の膜厚が同じである場合に比べて、閾値

電流の上昇を低く抑える傾向が確認され、本発明のようにp側光ガイド層の膜厚が厚く非対称な導波路を有することが有利に働く傾向がある。

また、エッティングにより、上記リッジ導波路、突出部を形成する際には、生産性も考慮しなければならない。これは、エッティングの深さがますにつれて、その精度、例えばウェーハ内での素子間のばらつきが多く発生するようになり、これをそれを回避する必要がある。具体的には、0.7 μ mを超える深さでエッティングして、上記ストライプ状の突出部（リッジ構造）を形成すると、上記問題が急激に発生する傾向にあり、これよりも浅くエッティングすることが好ましい。すなわち、これは、本発明において、リッジの高さを調整するものであり、上記範囲内でレーザ素子を形成することが好ましい。ここで、突出部の高さとは、具体的には、上記突出部以外の領域におけるp側光ガイド層の平面、すなわちエッティングにより露出され突出部の側面に連続した平面から、突出部まで、リッジの高さはその突出部の上に形成されたp型窒化物半導体層まで、その膜厚方向での高さを指し、p型窒化物半導体層の最上面がエッティング開始位置である。

15 (突出部の高さ)

更に、本発明の上記p側光ガイド層において、突出部の高さを高くすると、発振しきい電流が下がる傾向にあり、好ましい。すなわち、これは、エッティングが深くなるにつれて、出力の安定性を増加させるものであり、レーザ素子の応用に多大に寄与するものである。すなわち、出力が増加しても、单一モードでの安定した発振を実現し、発振しきい電流が良好なため素子劣化を大幅に抑制し、長寿命での連続発振を実現する効果がある。前記p側光ガイド層において、突出部の高さが100 Å以上であることにより、良好なビーム形状有するレーザ素子が得られ、好ましくは、500 Å以上であり、その出力において、高出力でも单一モード発振が可能である。そのため、レーザ素子の応用において必要とされる素子の信頼性を十分に確保されたものである。

以上に加えて、エッティングにより形成する場合には、エッティングにより露出される表面の平坦性も考慮すると、更に、好ましい。これは、エッティングにより、上記ストライプ状の突出部を形成する際に、そのエッティングにより露出されたp側光ガイド層の表面の位置が、膜厚方向であって、素子間のばらつきを生む程度

の領域において、ばらつきがあるため、それを考慮する必要がある。具体的には、
p側光ガイド層を膜厚500Å以上、好ましくは500以上1000Å以下の範
囲残す深さでエッティングして、上記p側光ガイド層の突出部を形成することである。
これは、膜厚500Å以上の残る深さであると、p側光ガイド層よりも深く
5 エッティングされることが、ほぼなくなり、良好な精度で突出部が形成される。また、1000Å以上であると、上述した発振しきい電流の上昇がみられ、さらに
横モードの制御性に劣る傾向にある。

本発明において、p側光ガイド層の組成としては、特に限定されるものではなく、窒化物半導体からなり、導波路形成に十分なエネルギー・バンドギャップを有
10 していれば良く、単一の膜、多層膜のどちらでも良い。例えば、波長370～480nmではアンドープのGaNを用い、それよりも長波長ではInGaN/GaNの多層膜構造を用いることである。

また、本発明において、n側光ガイド層と、p側光ガイド層とで活性層を挟み
15 込む構造により構成される導波路は、その膜厚の総和、すなわち両ガイド層で挟
まれる領域の膜厚が、好ましくは5000Å以下、更に好ましくは、4500Å
以下とすることである。なぜなら、上記導波路の膜厚の総和が、5000Åを超
えると閾値が上昇し、更に7000Åを超えると急激に発振しきい電流が増大し、
基本モードでの連続発振が極めて困難になるためであり、4500Å以下である
20 と、そのような発振しきい電流の上昇は抑えられ、基本モード、且つ長寿命での
連続発振が可能である。

本発明において、n側光ガイド層はp側光ガイド層の膜厚より薄いこと以外に
は特に限定されるものでなく、両光ガイド層で活性層を挟み込む構造として導波
路とすることである。また、n側光ガイド層として具体的には、GaN、InGaNを成長させ
25 が望ましく、具体的にはアンドープのGaN、活性層に近づくに従いIn混晶比を小さくしたInGaNと、GaNとを交互に積層した多層膜等がある。ここで、InGaNとは、GaNにInが含まれる三元混晶のことである。

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、上記p側光ガイド層の上に形成さ
れるp型窒化物半導体層としては、具体的には、実施例に示すようにp側クラッ

ド層、p側コンタクト層などを積層したものである。そのため、本発明では、p側光ガイド層の突出部の上に形成されたp型窒化物半導体層は、ストライプ状に形成されており、リッジ導波路を形成する。

本発明において、光ガイド層と活性層との間に、キャップ層を形成しても良い。
5 例えば、活性層とp側光ガイド層との間に、p型不純物をドープしたAl_xG_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなるp側キャップ層を形成することである。この時、ストライプ状のリッジ導波路を、p側キャップ層に達する深さで形成されると、電子寿命が低下する傾向にあり好ましくなく、このような場合にも上述したように、p側光ガイド層にストライプ状の突出部を設けるように、リッジ導波路を形成する10 ことが好ましい。

本発明において、リッジ導波路のストライプ幅、若しくはp側光ガイド層においては突出部のストライプ幅が、1 μm以上3 μm以下の範囲にあると、良好な横モードの制御が可能となる。これは、上記範囲であると、単一横モードでの発振が比較的良好に実現され、また上記p側光ガイド層でリッジ導波路が形成される15 ことで、安定、且つ精度の良いビーム形状の制御（良好なF. F. P.）を実現することができる。この時、1 μm未満であると、ストライプ状のリッジ構造若しくは上記突出部の形成が製造上困難となり、歩留りが低下し、3 μmを超えると水平横モードの制御が困難になる傾向を示す。

本発明における窒化物半導体レーザ素子を構成する窒化物半導体としては、In_xAl_{1-x}GaN ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$) で表され、窒化ガリウムの他に、3元系、4元系の混晶などがある。本発明では、上記、基板上に積層するレーザ素子構造を、実施例で示すように、上記組成式で表される窒化物半導体からなるものとすることが、上述したレーザ光の横モード、ビーム形状の制御が最も好ましくなる傾向にある。

25 ここで、F. F. P. における水平方向（x方向）とは、接合面（若しくはp接合面）に平行な方向を示すものであり、Fig. 20における遠視野像（F. F. P.）（A）のx方向（d）であり、その方向における横モードを水平横モードと記す。

本実施形態では、活性層を挟む光ガイド層の内、p側光ガイド層をn側光ガイ

ド層との膜厚より厚くした非対称な構造を有し、両光ガイド層で挟まれる導波路領域内における光分布を、従来のレーザ素子と比べてずらして、すなわち、光分布と利得分布をずらすことで、横モードを従来とは異なる方法で制御し、所望のビーム形状のレーザ光を得るものである。

5 好ましくは、p側光ガイド層がストライプ状の突出部を有することであり、このことで、上述したようにストライプ状の導波路領域を形成し、実効的な屈折率分布を形成するものである。具体的には、Fig. 20に観るように、ストライプ状の突出部有するp側光ガイド層109側に、出射光であるレーザスポット(a)が偏り、良好な水平横モードの制御が実現されている。このことにより、従10 来のストライプ構造のレーザ素子では、F. F. P. の水平方向(x方向)では狭く、アスペクト比も3以上のものであったが、本発明ではこの水平方向の横モードが良好に制御されているため、従来に比べて格段にアスペクト比も良好なものとなる。

また、本発明において、活性層がInを含む窒化物半導体、例えばInGaNの三元混晶、である場合には、活性層での発光が活性層内のInにより、光が散乱されることを考慮しなければならない。すなわち、活性層からの光は、活性層内の光散乱物質であるInにより、損失を受け、これが出力の向上を妨げる原意ともなる。本発明のレーザ素子では、上述したように、活性層挟む光ガイド層の内、p側光ガイド層の膜厚が厚いことにより、従来とは異なった導波によりレーザ光が得られるため、上記光散乱物質による損失が減少して、光ガイド層の膜厚が厚くなることによる、閾値電流の上昇を補填するようなレーザ素子となる。これは主に、膜厚方向における導波路内での光分布が利得分布からずれることで、上記光散乱物質に有する領域(活性層)からずれた所に、光が分布して導波することによる。このため、上記光の散乱による損失が減少し、結果として、従来と同等若しくはそれ以下の閾値電流で発振が可能になるものと思われる。このことで、従来より光ガイド層の膜厚、特にp側光ガイド層の膜厚が厚くなることにより閾値電流の上昇する傾向を抑え、本発明では上記光散乱の損失が減少することにより、閾値を従来と同程度の状態で、レーザのビーム形状の良好なレーザ素子が得られる。

また、Fig. 20において、従来は、出射面におけるスポット形状(a)が、接合面に平行な方向に広がっており、F. F. P. でのx方向(d)は、10°以下と狭く、アスペクト比も悪いものであった。しかし、本発明では、図に示すように、スポット形状の長手方向は従来と同様に水平方向にあるが、その長手方向の広がりは、狭くなり、F. F. P. (A)のx方向は従来より広く、具体的には12°～20°と良好で、アスペクト比も2.0前後と良好なものとなる。このように、出力特性、素子信頼性を悪化させずに、光学特性を改善するのは、上述したように、ストライプ状の突出部が設けられたp側光ガイド層により、良好な実効屈折率を有するストライプ状の導波路領域がレーザ素子に形成されたことによるものである。更にまた、上述したように、従来に比べて、p側光ガイド層の膜厚、若しくはそれにn側光ガイド層の膜厚を加えた両ガイド層のトータル膜厚が増すことにより、図における接合面に垂直な方向(y方向)のビーム広がりが、回折効果の減少により抑制され、このことも本発明のレーザ素子における光学特性、特にアスペクト比の改善に寄与する。すなわち、上述したような水平横モードの制御だけでなく、従来に比べて、F. F. P. でのy方向の光の広がりが抑えられたことで、従来のような垂直方向に扁平したファーフィールド・パターン(A)より真円に近づいたレーザ光が得られる。このように、p側光ガイド層がn側光ガイド層より膜厚が厚いことで、F. F. P. におけるx方向だけでなく、y方向へのビーム形状改善への寄与も、本発明の効果を奏するのに重要である。

第4実施態様

本実施態様では、p型キャップ層すなわち、光閉じ込め用第1クラッド層を活性層上に成長させる。p型第1クラッド層としては、Mgドープの Al_dGa_{1-d} N ($0 < d \leq 1$) からなり、好ましくはdが0.1以上0.5以下、さらに好ましくは0.35以下の範囲に設定するのがよい。本発明における第1クラッド層は、上記範囲の混晶比が適用されるが、詳しくは後述するとおりである。

また、p型第1クラッド層全体の膜厚は、10オングストローム以上1000オングストローム以下、好ましくは20オングストローム以上400オングスト

ローム以下に設定する。p型第1クラッド層全体の膜厚をこのような範囲に設定するのは、次のような理由によるものである。

すなわち、p型第1クラッド層をAlGaN層とした場合、キャリア閉じ込め機能を効果的に発揮させることができると、AlGaN層はAlを含まない窒化ガリウム系半導体に比較してバルク抵抗が高いものである。従って、p型第1クラッド層を形成したことによる発光素子における抵抗値の上昇を抑える必要があるために、1000オングストローム以下、好ましくは400オングストローム以下に設定する。

また、このp型第1クラッド層の本来の機能は、上述のキャリア閉じ込め機能であり、その機能を効果的に発揮するために、その膜厚を10オングストローム以上、好ましくは20オングストローム以上に設定する。

従って、膜厚が上記範囲であると、活性層6内にキャリアを効果的に閉じ込めることができ、且つバルク抵抗も低く抑えることができる。

またp型第1クラッド層のMgのドープ量は、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ とするのがよい。ドープ量をこの範囲に設定すると、バルク抵抗を低下させることに加えて、後述のアンドープで成長させるp型ガイド層にMgが拡散され、比較的薄い層であるp型ガイド層にMgを $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲で含有させることができる。

ここで特に、本実施形態においてはp型第1クラッド層は、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ からなる第1のp型窒化物半導体層と、その上に $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ からなる第2のp型窒化物半導体層の2層で構成することができるが、本発明はこれに限られるものではなく、2以上の層としてもよく、また、例えば、第2のp型窒化物半導体層を複数の層を積層することにより形成してもよい。

また、各層のAl混晶比は特に限定されるものではない。しかし、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ 層で表される第1のp型窒化物半導体層においては、Al混晶比aは、0以上であれば、活性層の分解を効果的に抑制することができる。この機能を発揮するためには、好ましくは $a > 0$ の $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ 層とすると、窒化物半導体の中でも比較的高融点で化学的に安定な層を、活性層に近い方に（好ましくは接する）設けることができ、活性層の分解をより効果的に抑制することができる。

また、本発明においては、第1のp型窒化物半導体層及び第2のp型窒化物半導体層の各Al混晶比a、bを、好ましくは0.1より大きく、更に好ましくは0.2より大きくすることで、活性層との間に良好なオフセットをとる（電位障壁を形成する）ことができ、キャリアのオーバフローのない良好なキャリア注入を実現することができる。この時、第1のp型窒化物半導体層と第2のp型窒化物半導体層とは、同一の組成、すなわち $a = b$ とすることが好ましく、このような条件下では、製造において各ソースガス、不純物ガスの供給量の調整等が容易にできかつ制御性を高くできるので、第1のp型窒化物半導体層及び第2のp型窒化物半導体層を安定して、精度よく成長させることができる。

次に、第1のp型窒化物半導体層、第2のp型窒化物半導体層の成長条件について説明する。

成長温度としては、第1のp型窒化物半導体層よりも高い温度で第2のp型窒化物半導体層を成長させることが好ましい。

特に、第1のp型窒化物半導体層の具体的な成長温度は800°C以上とすることが好ましく、より好ましくは850~950°C程度、活性層を成長させる温度と同様の温度に設定する。

そして、第2のp型窒化物半導体層の成長温度は、例えば活性層の成長温度より100°C程度高い温度に設定することが好ましく、これによりより良好な結晶性を有するAlGaN層を形成することができる。

さらに、第1のp型窒化物半導体層と第2のp型窒化物半導体層の成長時の雰囲気は、異なる雰囲気とすることが好ましい。すなわち、第1のp型窒化物半導体は、活性層とほぼ同じ雰囲気で成長させることができ、こうすることで、活性層の分解を防ぐことができる。また、第2のp型窒化物半導体は、良好なオフセットを形成するために好ましい雰囲気で成長させる。このようにすると、2つの層の結晶成長形態の違いにより、第1のp型窒化物半導体層は活性層の分解を防ぐ層、第2のp型窒化物半導体は良好なオフセットの実現を担う層とでき、各層にそれぞれ特有の機能を持たせることができる。具体的には、第1のp型窒化物半導体層の成長雰囲気はN₂とし、第2のp型窒化物半導体層の成長雰囲気はH₂とすることで、それぞれ上述の機能を有する層が形成できるため、得られる素子は

良好な発光特性を有する。

また p 型第 1 クラッド層を前記少なくとも 2 層から構成する場合の各層の膜厚は、 p 型第 1 クラッド層を形成したことによる発光素子の V_f (順方向電圧) の上昇を小さく抑えるために、第 1 の p 型窒化物半導体層は 10 ~ 100 オングストロームの範囲、第 2 の p 型窒化物半導体層は 10 ~ 300 オングストロームの範囲に設定することが好ましい。また、 V_f の上昇をより小さく抑えるために、第 1 の p 型窒化物半導体層を 10 ~ 30 Å の範囲、第 2 の p 型窒化物半導体層を 10 ~ 100 Å オングストロームの範囲に設定することがさらに好ましい。

次に、 p 型ガイド層を p 型第 1 クラッド層上に成長させる。 p 型ガイド層は、アンドープの GaN からなる窒化物半導体層を成長させて形成するのがよい。膜厚は 0.1 ~ 0.07 μm とすることが好ましく、この範囲の膜厚にするとしきい値を低くすることができる。また上述のように、 p 型ガイド層はアンドープ層として成長させるが、 p 型第 1 クラッド層 7 にドープされている Mg が拡散して、 $1 \times 10^{16} / cm^3 \sim 1 \times 10^{18} / cm^3$ の範囲で Mg が含有される。

p 型ガイド層上には上述した実施態様と同様に p 型第 2 クラッド層を形成し、光閉じ込めを行わせる。

以下、実施例に基づき、本発明をより具体的に説明する。

[実施例 1]

F i g. 2 は本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図でありストライプ導波路に垂直な方向で切断した際の図を示すものである。以下、この図を基に実施例 1 について説明する。

(バッファ層 2)

1 インチ ϕ 、 C 面を正面とするサファイアよりなる異種基板 1 を MOVPE 反応容器内にセットし、温度を 500 °C にして、トリメチルガリウム (TMG) 、アンモニア (NH₃) を用い、 GaN よりなるバッファ層を 200 Å の膜厚で成長させる。

(窒化物半導体層 (下地層) 4)

バッファ層成長後、温度を 1050 °C にして、 TMG 、アンモニアを用い、アンドープ GaN よりなる窒化物半導体層 4 を 4 μm の膜厚で成長させる。この層

は、素子構造を形成する各層の成長において下地層として作用する。

(n側コンタクト層5)

次に、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、窒化物半導体基板1の上に、1050°CでSiを $3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層5を4μmの膜厚で成長させる。

(クラック防止層6)

次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を800°CにしてIn_{0.05}GaNよりなるクラック防止層6を0.15μmの膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

10 (n側クラッド層7)

続いて、1050°CでTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアを用い、アンドープAl_{0.15}GaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚1.2μmの超格子よりなるn側クラッド層7を成長させる。

(n側光ガイド層8)

続いて、シランガスを止め、1050°CでアンドープGaNよりなるn側光ガイド層8を0.1μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層8にn型不純物をドープしても良い。

(活性層9)

次に、温度を800°Cにして、SiドープIn_{0.05}GaNよりなる障壁層を100Åの膜厚で成長させ、続いて同一温度で、アンドープIn_{0.2}GaNよりなる井戸層を40Åの膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを2回交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚380Åの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドープしても良い。不純物は井戸層、障壁層両方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なお障壁層にのみn型不純物をドープすると閾値が低下しやすい。

(p側キャップ層10)

次に、温度を1050°Cに上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、p側光ガイド層11よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型Al_{1-x}

5 Ga_xNよりなるp側キャップ層7を300Åの膜厚で成長させる。

(p側光ガイド層11)

続いてCp₂Mg、TMAを止め、1050°Cで、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層10よりも小さい、アンドープGaNよりなるp側光ガイド層11を0.1μmの膜厚で成長させる。

10 (p側クラッド層12)

続いて、1050°CでアンドープAl_{1-x}Ga_xNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてCp₂Mg、TMAを止め、アンドープGaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、総膜厚0.6μmの超格子層よりなるp側クラッド層12を成長させる。p側クラッド層は少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子で作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。クラッド層12は、Alを含む窒化物半導体層、好ましくはAl_xGa_{1-x}N (0 < x < 1) を含む超格子構造とすることが望ましく、さらに好ましくはGaNとAlGaNとを積層した超格子構造とする。p側クラッド層12を超格子構造とすることによって、クラッド層全体のAl混晶比を上げることができるので、クラッド層自体の屈折率が小さくなり、さらにバンドギャップエネルギーが大きくなるので、閾値を低下させる上で非常に有効である。さらに、超格子としたことにより、クラッド層自体に発生するピットが超格子にしないものよりも少なくなるので、ショートする確率も低くなる。

(p側コンタクト層13)

最後に、1050°Cで、p側クラッド層9の上に、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層13を150Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型のIn_xAl_yGa_{1-x-y}N (0 ≤ x, 0 ≤ y, x+y ≤

1) で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaNとすれば、p電極20と最も好ましいオーミック接触が得られる。コンタクト層13は電極を形成する層であるので、 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ よりも低いと電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成をGaNとすると、電極材料と好ましいオーミックが得られやすくなる。

以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面にSiO₂よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッティング)を用いSiCl₄ガスによりエッティングし、Fig. 1に示すように、n電極を形成すべきn側コンタクト層5の表面を露出させる。このように窒化物半導体を深くエッティングするには保護膜としてSiO₂が最適である。

次に上述したストライプ状の導波路領域を形成する方法について詳説する。まず、Fig. 3Aに示すように、最上層のp側コンタクト層13のほぼ全面に、PVD装置により、Si酸化物(主として、SiO₂)よりなる第1の保護膜61を0.5μmの膜厚で形成した後、第1の保護膜61の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトレジストよりなる第3の保護膜63を、ストライプ幅2μm、厚さ1μmで形成する。

次に、Fig. 3Bに示すように第3の保護膜63形成後、RIE(反応性イオンエッティング)装置により、CF₄ガスを用い、第3の保護膜63をマスクとして、前記第1の保護膜をエッティングして、ストライプ状とする。その後エッティング液で処理してフォトレジストのみを除去することにより、Fig. 3Cに示すようにp側コンタクト層13の上にストライプ幅2μmの第1の保護膜61が形成できる。

さらに、Fig. 3Dに示すように、ストライプ状の第1の保護膜61形成後、再度RIEによりSiCl₄ガスを用いて、p側コンタクト層13、およびp側クラッド層12をエッティングして、p側クラッド層の膜厚が0.01μmとなる深さのストライプ状の導波路領域として、リッジストライプを形成する。

リッジストライプ形成後、ウェーハをPVD装置に移送し、Fig. 3Eに示

すように、Zr酸化物（主としてZrO₂）よりなる第2の保護膜62を、第1の保護膜61の上と、エッティングにより露出されたp側クラッド層12の上に0.5 μmの膜厚で連続して形成する。

第2の保護膜62形成後、ウェーハを600°Cで熱処理する。このようにSiO₂以外の材料を第2の保護膜として形成した場合、第2の保護膜成膜後に、300°C以上、好ましくは400°C以上、窒化物半導体の分解温度以下（120°C）で熱処理することにより、第2の保護膜が第1の保護膜の溶解材料（フッ酸）に対して溶解しにくくなり、この工程を加えることがさらに望ましい。

次に、ウェーハをフッ酸に浸漬し、Fig. 3Fに示すように、第1の保護膜61をリフトオフ法により除去する。

次にFig. 3Gに示すように、p側コンタクト層13の上の第1の保護膜61が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極20を形成する。但しp電極20は100 μmのストライプ幅として、この図に示すように、第2の保護膜62の上に渡って形成する。第2の保護膜形成後、既に露出させたn側コンタクト層5の表面にはTi/AIよりなるn電極21をストライプと平行な方向で形成する。

次に、n電極を形成するためにエッティングして露出された面でp, n電極に、取り出し電極を設けるため所望の領域にマスクし、SiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜64を設けた後、p, n電極上にNi-Ti-Au（1000 Å-1000 Å-8000 Å）よりなる取り出し（パット）電極22, 23をそれぞれ設けた。

以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して70 μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバ一状に劈開し、劈開面（（11-00）面、六方晶系の側面に相当する面=M面）に共振器を作製する。この共振器面にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してFig. 1に示すようなレーザ素子とする。なおこの時の共振器長は800 μmであった。

このレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれのパット電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、発振波長400~420 nm

m、閾値電流密度 2.9 k A/cm^2 において室温連続発振を示した。さらに電流値を上げて出力を上げていき、横モードが基本モード（単一モード）の条件で、その電流一光出力特性を得たところ、Fig. 5に示すように、 5 mW としてもキンクの発生が無く、さらに 30 mW まで光出力を上げてもキンクは発生せずに、
5 横モードは安定していた。また、素子寿命についても試験したところ、 5 mW の出力で1万時間以上の連続発振が確認され、 30 mW の光出力でも千時間を超えるものが確認された。このように、単一の横モード（基本モード）で、光出力を増加させて高出力化させても安定した横モードが得られ、記録・再生の光ディスクへの適用も可能である。

10 [実施例 2]

ストライプ状の導波路領域形成のためのエッチング深さが、p側クラッド層の膜厚が $0.1 \mu\text{m}$ となる深さ、すなわちエッチングにより露出された窒化物半導体平面（p側クラッド層の露出した表面）がp側クラッド層とp側光ガイド層との界面から、p側コンタクト層方向に $0.1 \mu\text{m}$ の位置となる深さであること以外は、実施例1と同様にレーザ素子を作製した。得られたレーザ素子は、その電流一光出力特性をFig. 5の102に示すように、比較的低い光出力では実施例1と同様な特性を示すが、 20 mW 付近でキンクの発生が観られるなど、高出力領域において実施例1と比べて横モードが不安定であった。また、素子寿命については、 5 mW の出力で一万時間を超えるなど良好なものであった。

20 [実施例 3]

ストライプ状の導波路領域形成のためのエッチング深さが、p側クラッド層の膜厚が $0.05 \mu\text{m}$ となる深さ、すなわちエッチングにより露出された窒化物半導体平面（p側クラッド層の露出した表面）がp側クラッド層とp側光ガイド層との界面からp側コンタクト層方向に $0.05 \mu\text{m}$ の位置となる深さであること以外は、実施例1と同様にレーザ素子を作製した。得られたレーザ素子は、実施例1に比べて横モードの安定性、特に出力 20 mW 以上の領域において僅かに劣るもの、実施例2に比べて横モードの安定性は良好なものであった。また、素子寿命については、実施例1乃至2と同様に 5 mW の出力では、1万時間を超えるものであり、 30 mW についても実施例1に比べてその割合は少ないものの、

千時間を超えるものがあった。ここで、70°C、5mW動作時間に対する駆動電流変化をFig. 6に示す。Fig. 6から明らかなように、比較例3の駆動電流変化に比べて、初期劣化から劣化速度が一定になるまでの遷移領域において実施例3は大きく異なり、劣化速度が一定になる駆動電流値が低く、劣化速度(図中の直線部の傾き)も低く、寿命特性が比較例3に比べて良好であることがわかる。

[実施例4]

エッチング深さが、p側クラッド層の膜厚が0.1μmとなる深さ、すなわちエッチングにより露出された窒化物半導体平面が、ほぼp側光ガイド層を取り除く深さ、すなわちp側キャップ層と活性層との界面から0.03μmの位置となる深さであり、第2の保護膜を形成しないこと以外は、実施例1と同様にして、Fig. 1に示すレーザ素子を作製した。

得られたレーザ素子は、光出力上昇時の横モードの安定性は、実施例3とほぼ同程度に、比較的出力の広い領域にわたりシンクの発生が無く、素子寿命についても5mWの出力で1万時間を超し、良好なものであった。

[実施例5]

実施例4において、エッチング深さが、p側クラッド層の膜厚が0.05μmの位置となる深さであること除いて同様にしてレーザ素子を作製した。得られたレーザ素子は、実施例4とほぼ同程度に横モードが安定で、長寿命のレーザ素子であった。

[実施例6]

実施例1においてリッジ幅を1.2μmとする他は、同様にしてレーザ素子を作製した。

得られたレーザ素子は、実施例1とほぼ同等に、数mW～数十mWの広い光出力範囲において、シンクの発生が無く、またその素子寿命も同等に長寿命で良好なものであった。

[比較例1]

実施例4において、エッチング深さが、0.2μmの位置となる深さであること除いて同様にしてレーザ素子を作製した。

得られたレーザ素子は、横モードが不安定性が素子ごとにばらつきがあり、出力が 5 mWまでキンクの発生の無いものが少なく、また素子寿命については、ある程度良好なものが得られる傾向にあるが、実施例 2 に比べると不十分なものであった。

5 [比較例 2]

エッチング深さを活性層に達する深さ、活性層と p 側キャップ層との界面より僅かに活性層側に至る深さで行うことを除いて、実施例 1 と同様にしてレーザ素子を得た。

10 得られたレーザ素子は、その素子寿命において、素子ごとにばらつきがあるものの、各実施例に比べて大幅に低下し、5 mWでの発振において、100 時間程度の素子寿命のものがほとんどであった。

15 [比較例 3]

Fig. 4 に示すように、n 側コンタクト層 7 に至る深さでエッチングする他は、実施例 5 と同様にしてレーザ素子を得た。

20 得られたレーザ素子は、比較例 2 と同様に素子寿命は悪く、その様子を Fig. 6 に示す。Fig. 6 では、70 °C、5 mWの条件であり、劣化速度が安定するまでに大きく駆動電流値が上昇し、またその劣化速度も高く、寿命特性の低さを示すものであった。また、横モードも不安定であり、素子間にもばらつきが多く、特に光出力が高くなるに従いその傾向は顕著であった。

25 [比較例 4]

リッジ幅が 3.5 μm であることを除いて、実施例 1 と同様にしてレーザ素子を得た。

得られたレーザ素子は、横モードが不安定で、加えてその横モードの安定性も素子間にかなりのばらつきを有するものであり、3 ~ 10 mW の範囲でほとんど全ての素子にキンクが発生していた。

20 [実施例 7]

Fig. 17 は本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図でありストライプ状の突出部に垂直な面で切断した際の積層構造を示すものである。以下、この図を基に実施例 7 について説明する。

基板として、(0001) C面を正面とするサファイア基板を用いた。この時、オリフラ面はA面であった。窒化物半導体を成長させる基板としては、サファイア(正面がC面、R面、A面)の他、SiC、ZnO、スピネル(MgAl₂O₄)、GaAs等、窒化物半導体を成長させるために知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる機種基板を用いることができる。また、GaNなどの窒化物半導体からなる基板上に直接積層しても良い。

5 (バッファ層102)

1インチφ、C面を正面とするサファイアよりなる異種基板101をMOVPE反応容器内にセットし、温度を500°Cにして、トリメチルガリウム(TM₃G)、アンモニア(NH₃)を用い、GaNよりなるバッファ層を200Åの膜厚で成長させる。

10 (下地層103)

バッファ層成長後、温度を1050°Cにして、TMG、アンモニアを用い、アンドープGaNよりなる下地層103を4μmの膜厚で成長させる。この層は、素子構造を形成する各層の成長において基板として作用する。このように、異種基板上に、窒化物半導体の素子構造を形成する場合には、低温成長バッファ層、窒化物半導体の基板となる下地層を形成すると良い。

15 (n側コンタクト層104)

次に、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、窒化物半導体基板101の上に、1050°CでSiを3×10¹⁸/cm³ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層104を4μmの膜厚で成長させる。

20 (クラック防止層105)

次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を800°CにしてIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなるクラック防止層105を0.15μmの膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

25 (n側クラッド層106)

続いて、1050°CでTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアを用い、アンドープAl_{0.16}Ga_{0.84}Nよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、Siを1×10¹⁹/cm³ドープした

n型GaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚1.2μmの超格子よりなるn側クラッド層106を成長させる。

(n側光ガイド層107)

5 続いて、シランガスを止め、1050°CでアンドープGaNよりなるn側光ガイド層107を0.2μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層107にn型不純物をドープしても良い。

(活性層108)

10 次に、温度を800°Cにして、SiドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる障壁層を100Åの膜厚で成長させ、続いて同一温度で、アンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を40Åの膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを2回交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚380Åの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドープしても良い。不純物は井戸層、障壁層両方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なお障壁層にのみn型不純物をドープすると閾値が低下しやすい。

(p側キャップ層109)

20 次に、温度を1050°Cに上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、p側光ガイド層11よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp側キャップ層109を300Åの膜厚で成長させる。

(p側光ガイド層110)

25 続いてCp₂Mg、TMAを止め、1050°Cで、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層10よりも小さい、アンドープGaNよりなるp側光ガイド層110を0.2μmの膜厚で成長させる。

このp側光ガイド層110は、アンドープ、すなわち意図的にドープしない状態で成長させるが、p側第1クラッド層、p側第2クラッド層の隣接する層からのMg拡散が起こり、実際にはMg濃度が5×10¹⁶/cm³となり、Mgがドープされた層となる。

(p側クラッド層111)

続いて、1050°CでアンドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてCp₂Mg、TMAを止め、アンドープGaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、総膜厚0.6μmの超格子層よりなるp側クラッド層111を成長させる。p側クラッド層は少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子で作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。クラッド層111は、Alを含む窒化物半導体層、好ましくはAl_xGa_{1-x}N (0 < x < 1) を含む超格子構造とすることが望ましく、さらに好ましくはGaNとAlGaNとを積層した超格子構造とする。p側クラッド層111を超格子構造とすることによって、クラッド層全体のAl混晶比を上げることができるので、クラッド層自体の屈折率が小さくなり、さらにバンドギャップエネルギーが大きくなるので、閾値を低下させる上で非常に有効である。さらに、超格子としたことにより、クラッド層自体に発生するピットが超格子にしないものよりも少なくなるので、ショートの発生も低く抑えることができる。

(p側コンタクト層112)

最後に、1050°Cで、p側クラッド層111の上に、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層112を150Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型のIn_xAl_yGa_{1-x-y}N (0≤x, 0≤y, x+y≤1) で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaNとすれば、p電極20と最も好ましいオーム接觸が得られる。コンタクト層112は電極を形成する層なので、1×10¹⁷/cm³以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。1×10¹⁷/cm³よりも低いと電極と好ましいオーム接觸を得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成をGaNとすると、電極材料と好ましいオーム接觸が得られやすくなる。

以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面にSiO₂よりなる保護膜を形成して、RIE (反応性イオンエッティング) を用いSiCl₄ガスによりエッティングし、Fig.

17に示すように、n電極を形成すべきn側コンタクト層104の表面を露出させる。このように窒化物半導体を深くエッティングするには保護膜としてSiO₂が最適である。

次にストライプ状のリッジ導波路を形成する方法について説明する。まず、Fig. 19Aに示すように、最上層のp側コンタクト層112のほぼ全面に、PVD装置により、Si酸化物（主として、SiO₂）よりなる第1の保護膜161を0.5μmの膜厚で形成した後、第1の保護膜161の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトレジストよりなる第3の保護膜163を、ストライプ幅2μm、厚さ1μmで形成する。ここで、第1の保護膜161は、特に絶縁性は問わず、窒化物半導体のエッティング速度と差がある材料であればどのような材料でも良い。例えばSi酸化物（SiO₂を含む）、フォトレジスト等が用いられ、好みしくは、後に形成する第2の保護膜との溶解度差を設けるために、第2の保護膜よりも酸に対して溶解されやすい性質を有している材料を選択する。酸としてはフッ酸を好みしく用い、そのためフッ酸に対して溶解しやすい材料として、Si酸化物を好みしく用いる。

次に、Fig. 19Bに示すように第3の保護膜163形成後、RIE（反応性イオンエッティング）装置により、CF₄ガスを用い、第3の保護膜163をマスクとして、前記第1の保護膜をエッティングして、ストライプ状とする。その後エッティング液で処理してフォトレジストのみを除去することにより、Fig. 19Cに示すようにp側コンタクト層112の上にストライプ幅2μmの第1の保護膜161が形成できる。

さらに、Fig. 19Dに示すように、ストライプ状の第1の保護膜161形成後、再度RIEによりSiCl₄ガスを用いて、p側コンタクト層112、およびp側クラッド層111、p側光ガイド層110をエッティングして、p側光ガイド層のエッティングされた領域（突出部以外の領域）における膜厚が1000Åとなる深さのストライプ状の導波路領域として、リッジストライプを形成する。

リッジストライプ形成後、ウェーハをPVD装置に移送し、Fig. 19Eに示すように、Zr酸化物（主としてZrO₂）よりなる第2の保護膜162を、第1の保護膜161の上と、エッティングにより露出されたp側光ガイド層111

の上（突出部以外の領域）に0.5 μmの膜厚で連続して形成する。

ここで、第2の保護膜の材料としてはSiO₂以外の材料、好ましくはTi、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlNの内の少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でもZr、Hfの酸化物、BN、SiCを用いることが特に好ましい。これらの材料はフッ酸に対して多少溶解する性質を有しているものもあるが、レーザ素子の絶縁層にすれば埋め込み層としてSiO₂よりもかなり信頼性が高くなる傾向にある。またPVD、CVDのような気相で成膜した酸化物系薄膜は、その元素と酸素とが当量反応した酸化物となりにくいので、酸化物系薄膜の絶縁性に対する信頼性が不十分となりにくい傾向にあるが、本発明で選択した前記元素のPVD、CVDによる酸化物、BN、SiC、AlNはSi酸化物よりも絶縁性に対して信頼性に優れている傾向にある。しかも酸化物の屈折率を窒化物半導体よりも小さいもの（例えばSiC以外のもの）を選択すると、レーザ素子の埋め込み層として非常に都合がよい。さらにまた、第1の保護膜1をSi酸化物とすると、Si酸化物に対して、フッ酸による選択性を有しているため、Fig. 19Eに示すようにストライプ導波路の側面、そのストライプが形成されている平面（エッチストップ層）、及び第1の保護膜161の表面に連続して形成すると、リフトオフ法により、第1の保護膜161のみを除去すると、Fig. 19Fに示すような、平面に対して膜厚が均一な第2の保護膜162を形成することができる。

第2の保護膜162形成後、ウェーハを600°Cで熱処理する。このようにSiO₂以外の材料を第2の保護膜として形成した場合、第2の保護膜成膜後に、300°C以上、好ましくは400°C以上、窒化物半導体の分解温度以下（1200°C）で熱処理することにより、第2の保護膜が第1の保護膜の溶解材料（フッ酸）に対して溶解しにくくなり、この工程を加えることがさらに望ましい。

次に、ウェーハをフッ酸に浸漬し、Fig. 19Fに示すように、第1の保護膜161をリフトオフ法により除去する。

次にFig. 19Gに示すように、p側コンタクト層112の上の第1の保護膜161が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりも

る p 電極 120 を形成する。但し p 電極 120 は $100 \mu\text{m}$ のストライプ幅として、この図に示すように、第 2 の保護膜 162 の上に渡って形成する。第 2 の保護膜形成後、既に露出させた n 側コンタクト層 5 の表面には Ti / Au よりなる n 電極 121 をストライプと平行な方向で形成する。

5 次に、n 電極を形成するためにエッチングして露出された面で p, n 電極に、取り出し電極を設けるため所望の領域にマスクし、SiO₂ と TiO₂ よりなる誘電体多層膜 164 を設けた後、p, n 電極上に Ni-Ti-Au (1000 Å - 1000 Å - 8000 Å) よりなる取り出し (パット) 電極 122, 123 をそれぞれ設けた。

10 以上のようにして、n 電極と p 電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して $70 \mu\text{m}$ とした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバーン状に劈開し、劈開面 ((11-00) 面、六方晶系の側面に相当する面=M 面) に共振器を作製する。この共振器面に SiO₂ と TiO₂ よりなる誘電体多層膜を形成し、最後に p 電極に平行な方向で、バーを切断して Fig. 17 に示すようなレーザ素子とする。なおこの時の共振器長は $800 \mu\text{m}$ であった。

15 このレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれのパット電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、発振波長 $400 \sim 420 \text{ nm}$ 、発振しきい電流密度 2.9 kA/cm^2 において単一横モードでの室温連続発振を示した。次に、レーザ光の F. F. P. を測定したところ、水平方向で $15 \sim 20^\circ$ の良好な水平横モードが得られた。また、水平横モードは、比較例 5 とほぼ同程度に良好で、アスペクト比は、おおよそ 1.5 であった。加えて、厚膜の光ガイド層により、光の閉じ込めが良好となり、比較例 5 に比べてリップルの発生を大幅に抑制できた。

[実施例 8]

20 n 側光ガイド層、p 側光ガイド層の膜厚を、 2500 Å とする他は、実施例 7 と同様にして、レーザ素子を形成した。得られたレーザ素子は、実施例 7 とほぼ同程度の水平横モードの制御を実現しており、F. F. P. の水平方向は 18° であり、リップルの発生も同程度に抑制されていた。また、その発振特性は、実施例 7 に比べて僅かに劣り、素子寿命についても低下していた。これは、

活性層を挟む両光ガイド層で構成される導波路の膜厚の総和が、4500Åを大きく超え、6000Åに近づいたことによる影響が大きいものと思われる。しかし、両光ガイド層の膜厚が厚く鉈ことに、特にp側光ガイド層が厚くなつたことより、エッティングの制御が容易になり、製造歩留りの向上に寄与するものであつた。また、このことにより、素子間の出力特性にばらつきが少なく、良好なレーザ素子の製造が可能になる。この時のレーザ素子は、出力特性に劣るもののその駆動において、実施例1のものと僅かに劣る程度の発振を可能にするものであつた。更に、両光ガイド層の膜厚を、3000、3500、4000Åと厚くしたところ、発振しきい電流が上昇する傾向にある。特に、3500Åを超えるとその上昇傾向が顕著になり、素子寿命も低下傾向にある。このため、p側光ガイド層の膜厚は、好ましくは3500Å以下とすることであり、更に好ましくは2500Å以下とすることで、良好なレーザ光が得られ、その発振特性も十分なものが得られる傾向にある。

また、両光ガイド層の膜厚を1500Åとする他は、実施例7と同様にして、レーザ素子を形成すると、そのF. F. P. におけるx方向のビームの広がりは、実施例7に比べて僅かに狭い約13°であり、アスペクト比も1.8と実施例7に僅かに劣るものであった。しかし、閾値電流は、ほぼ同程度のものであり、好ましい出力特性で、長寿命のレーザ素子が得られる。また、p側光ガイド層の突出部の高さを500Å、すなわち、エッティングにより突出部を形成する際のエッティング深さをp側光ガイド層の膜厚が500Åとなる深さでストライプ状の導波路を形成する他は、実施例7と同様にして、レーザ素子を得る。得られるレーザ素子の閾値電流は、実施例7のそれに比べて下がる傾向にあり良好な出力特性のレーザ素子が得られ、またレーザのビーム形状もF. F. P. においてx方向の広がりが、14°とほぼ同程度であり、実効的な屈折率差が良好に働く傾向にある。

[実施例9]

p側光ガイド層の突出部の高さが、500Åとなる深さ、すなわちエッティングされる領域（突出部以外の領域）におけるp側光ガイド層の膜厚が1500Åとなる深さで、エッティングする他は、実施例7と同様にして、レーザ素子を形成し

た。得られたレーザ素子は、閾値電流の上昇傾向にあり、実施例7に比べて出力特性に劣るものであった。しかし、その閾値電流の上昇は僅かであり、実用において十分なものであり、逆に突出部以外の領域の膜厚が厚くなつたことにより、製造歩留りが向上し、素子間の出力特性のばらつきも少なくなる傾向にある。

5 [実施例10]

p側光ガイド層のストライプ幅を、 $3 \mu\text{m}$ とする他は、実施例7同様にして、レーザ素子を得た。得られたレーザ素子は、実施例1に比べて、水平横モードの制御が劣るものとなり、F. F. P. のアスペクト比は約2と、実施例7に比べて劣るものであった。また、実施例7に比べて単一横モードでの発振の安定性に劣り、キングの発生する不良品となる素子の割合が高くなる傾向にあった。このため、更に好ましくはストライプ幅は $2 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$ ($1.5 \mu\text{m}$ 以上 $2.5 \mu\text{m}$ 以下) の範囲にあることで、横モードの制御性に素子ばらつきが少なく、レーザ光のアスペクト比も良好で、単一モード発振のレーザ素子が得られる。

10 [実施例11]

15 本発明の一実施形態として、実施例7よりも長波長、具体的には 470nm 以上の長波長のレーザ素子について以下説明する。C面を正面とするサファイアよりなる異種基板1の上に、実施例7と同様にGaNよりなるバッファ層2を 200\AA 、アンドープGaNよりなる下地層103を $4\mu\text{m}$ を成長させ、その上にSiを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層104を $4.5\mu\text{m}$ 、SiドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなる中間層を、クラック防止層105に代えて成長させる。この時、中間層は、省略が可能である。

20 (n側クラッド層106)

25 次に、TMG、アンモニア、TMA（トリメチルアルミニウム）を流し、 1050°C にしてアンドープAl_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなる層を 25\AA の膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、Siを $1 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなる層を 25\AA の膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚 $0.2\mu\text{m} \sim 1.5\mu\text{m}$ 、好ましくは $0.7\mu\text{m}$ の超格子よりなるn側クラッド層106を成長させる。n側クラッド層は、Al_{1-x}Ga_{1-x}N ($0 < x < 1$) を含む超格

子構造とすることが望ましく、さらに好ましくはGaNとAlGaNとを積層した超格子構造とする。超格子とした場合、不純物はいずれか一方の層に多くをドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。

5 (n側光ガイド層107)

続いて、シランガスを止め、TMIを流し、850°C～950°C、好ましくは880°CでアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる層を10Åの膜厚で成長させ、続いてTMIを止めて、アンドープGaNよりなる層を10Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚50Å～2500Å、好ましくは500Å～800Å、更に好ましくは750Åの超格子よりなるn側光ガイド層107を成長させる。

(活性層108)

続いて、TMIを流し、750°C～850°C、好ましくは820°CでアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなる井戸層を30Å、アンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるキャップ層を10Å、続いて850°C～950°C、好ましくは880°CでアンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるバリア層を60Å成長させ、これを1ペアとして合計6ペア積層した活性層108を成長させる。

(p側キャップ層109)

次にTMIを止め、TMAを流し、850°C～950°C、好ましくは880°Cで、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるキャップ層109を10Å以上、0.1μm以下、好ましくは100Åの膜厚で成長させる。

(p側光ガイド層110)

続いて、TMAを止め、TMIを流し、850°C～950°C、好ましくは880°Cで、アンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる層を10Åの膜厚で成長させ、続いてTMIを止めて、Mgを $1 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる層を10Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚50Å～2500Å、好ましくは500Å～800Å、更に好ましくは750Åの超格子よりなるp側光ガイド層110を成長させる。

(p側クラッド層111)

続いて、TMAを流して、850°C～1050°CでアンドープAl_{0.16}Ga_{0.84}Nよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、Mgを3×10¹⁸～5×10¹⁸/cm³ドープしたGaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子構造を構成し、総膜厚0.2μm～1.5μm、好ましくは0.7μmの超格子よりなるp側クラッド層111を成長させる。

(p側コンタクト層112)

最後に、850°C～1050°Cでp側クラッド層111の上に、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層112を150Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型のIn_xGa_yAl_{1-x-y}N (0≤X、0≤Y、X+Y≤1)で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaN、InGaNとすれば、p電極と最も好ましいオーミック接触が得られる。コンタクト層112は電極を構成する層であるので、1×10¹⁸/cm³以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。1×10¹⁸/cm³より低いと、電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成をGaN、InGaN若しくは、GaN、InGaNを含む超格子とすると、電極材料と好ましいオーミックが得られやすくなる。

以上の各層を積層した後、実施例7と同様に、エッチングして、n側コンタクト層104の表面を露出させ、更にストライプ状のリッジ導波路を形成して、n電極121、p電極120、誘電体多層膜164、取り出し電極122、123を形成して、レーザ素子を得る。得られるレーザ素子は、閾値電流密度2.0kA/cm²、閾値電圧4.0Vで、発振波長470nmの連続発振が確認され、1000時間以上の寿命を示した。また、そのレーザ光は、F.F.P.において、ビーム形状の水平方向(x方向)が広く17°程度であり、アスペクト比も1.5程度と良好なものであった。長波長のレーザ素子でも、良好なレーザ光で、発振しきい電流も低く良好なもので、寿命特性も良好なものが得られる。

[実施例12]

p側光ガイド層の膜厚を1000Åとする他は、実施例11と同様にしてレーザ素子構造の各層を積層する。続いて実施例7と同様にして、エッチングにより

リッジ導波路を形成し、レーザ素子を得る。この時、エッチング深さは、p型光ガイド層のエッチングされた領域（突出部以外の領域）における膜厚が500Åとなる深さであり、p側光ガイド層に突出部が設けられたリッジストライプを形成する。

5 得られるレーザ素子は、閾値電流密度2.0kA/cm²、閾値電圧4.0Vで、発振波長470nmの連続発振が確認され、1000時間以上の寿命を示した。また、そのレーザ光は、F.F.P.において、ビーム形状の水平方向（x方向）が広く17°程度であり、アスペクト比も1.5程度と良好なものであった。長波長のレーザ素子でも、良好なレーザ光で、発振しきい電流も低く良好なもので、寿命特性も良好なものが得られる。

[比較例5]

10 p側光ガイド層、及びn側光ガイド層の膜厚が、1000Åであることを除いて、実施例7と同様にレーザ素子を形成した。得られたレーザ素子は、同程度の発振しきい電流であったが、F.F.P.において、x方向の広がりが狭く8°程度であり、そのアスペクト比も3程度であった。

[比較例6]

各層を積層した後、p側クラッド層の膜厚が0.1μmとなる深さまでエッチングすることにより、ストライプ状の突出部をp側クラッド層に設けて、ストライプ状のリッジ導波路を形成する以外は、実施例7と同様にして、レーザ素子を得た。得られたレーザ素子は、実施例7に比べて、出力特性に劣り、素子寿命も大幅に減少した。

25 以下に示す、エッチング深さ、若しくはp側光ガイド層のストライプ状の突出部の高さに対する素子特性変化（Fig. 12）は、実施例13のレーザ素子をもとに測定されたものであり、活性層を挟む両光ガイド層の内、p側光ガイド層の膜厚が厚い場合におけるものである。

Fig. 12は、エッチング深さ、p側キャップ層、p側ガイド層、p側光ガイド層とが積層された構造に対する、閾値電流変化、アスペクト比変化を示すものである。Fig. 12から明らかかなように、p側光ガイド層に届く深さまで、エッチングしてリッジ構造を形成すること、すなわちp側光ガイド層がストライ

5 プ状の突出部を有することにより、良好な閾値電流でもって発振が可能であり、得られるレーザ光のアスペクト比も1に近づく傾向にあることを示している。このことは、Fig. 20で示すように、p側光ガイド層のストライプ状の突出部側に、出射光が移動するような状態になり、良好な実効屈折率が形成される。このことにより、水平横モードの閉じ込め有効に働き、結果として、F. F. P. におけるx方向のビーム形状が、10°以上、好ましくは12°～20°の良好なレーザ光得られ、アスペクト比も良好であるレーザ素子が得られることを示すものである。また、p側光ガイド層の突出部以外の領域における膜厚が薄くなるにつれて、すなわち突出部の高さが高くなるにつれて、閾値電流、アスペクト比共に、低下する傾向も現れているため、好ましくは上述した範囲に突出部の高さとすることである。

10

[実施例13]

15 Fig. 18は本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、ストライプ状の突出部に垂直な面で切断した際の積層構造を示すものである。以下、この図を基に実施例13について説明する。

20 基板として、(0001)C面を主面とするサファイア基板を用いた。この時、オリフラ面はA面であった。窒化物半導体を成長させる基板としては、サファイア(主面がC面、R面、A面)の他、SiC、ZnO、スピネル(MgAl₂O₄)、GaAs等、窒化物半導体を成長させるために知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる機種基板を用いることができる。また、窒化物半導体からなる基板上に直接積層しても良い。

(バッファ層102)

25 1インチφ、C面を主面とするサファイアよりなる異種基板1をMOVPE反応容器内にセットし、温度を500°Cにして、トリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH₃)を用い、GaNよりなるバッファ層を200Åの膜厚で成長させる。

(下地層103)

バッファ層成長後、温度を1050°Cにして、TMG、アンモニアを用い、アンドープGaNよりなる下地層103を4μmの膜厚で成長させる。この層は、

素子構造を形成する各層の成長において基板として作用する。このように、異種基板上に、窒化物半導体の素子構造を形成する場合には、低温成長バッファ層、窒化物半導体の基板となる下地層を形成すると良い。

(n側コンタクト層104)

5 次に、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、窒化物半導体基板1の上に、1050°CでSiを $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層104を4μmの膜厚で成長させる。

(クラック防止層105)

10 次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を800°Cにして $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ よりなるクラック防止層105を0.15μmの膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

(n側クラッド層106)

15 続いて、1050°CでTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアを用い、アンドープ $\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ よりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚1.2μmの超格子よりなるn側クラッド層106を成長させる。

(n側光ガイド層107)

20 続いて、シランガスを止め、1050°CでアンドープGaNよりなるn側光ガイド層107を1000Åの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層107にn型不純物をドープしても良い。

(活性層108)

25 次に、温度を800°Cにして、Siドープ $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ よりなる障壁層を100Åの膜厚で成長させ、続いて同一温度で、アンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を40Åの膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを2回交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚380Åの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドープしても良い。不純物は井戸層、障壁層両

方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なお障壁層にのみn型不純物をドープすると閾値が低下しやすい。

(p側キャップ層109)

次に、温度を1050°Cに上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg
5 (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、p側光ガイド層111よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型Al_{1-x}Ga_xNよりなるp側キャップ層109を300Åの膜厚で成長させる。

(p側光ガイド層110)

10 続いてCp₂Mg、TMAを止め、1050°Cで、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層110よりも小さい、アンドープGaNよりなるp側光ガイド層110を2500Åの膜厚で成長させる。

(p側クラッド層111)

15 続いて、1050°CでアンドープAl_{1-x}Ga_xNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてCp₂Mg、TMAを止め、アンドープGaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、総膜厚0.6μmの超格子層よりなるp側クラッド層111を成長させる。p側クラッド層は少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子で作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。クラッド層111は、Alを含む窒化物半導体層、好ましくはAl_{1-x}Ga_xN (0 < x < 1) を含む超格子構造とすることが望ましく、さらに好ましくはGaNとAlGaNとを積層した超格子構造とする。p側クラッド層111を超格子構造とすることによって、クラッド層全体のAl混晶比を上げることができるので、クラッド層自体の屈折率が小さくなり、さらにバンドギャップエネルギーが大きくなるので、閾値を低下させる上で非常に有効である。さらに、超格子とすることにより、クラッド層自体に発生するピットが超格子にしないものよりも少なくなるので、ショートの発生も低く抑えることができる。

(p側コンタクト層112)

最後に、1050°Cで、p側クラッド層111の上に、Mgを1×10²⁰/cm³

ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層112を150Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型の $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaNとすれば、p電極120と最も好ましいオーミック接触が得られる。コンタクト層112は電極を形成する層であるので、 $1 \times 10^{17}/cm^3$ 以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。 $1 \times 10^{17}/cm^3$ よりも低いと電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成をGaNとすると、電極材料と好ましいオーミックが得られやすくなる。

以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面にSiO₂よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッティング)を用いSiCl₄ガスによりエッティングし、Fig. 18に示すように、n電極を形成すべきn側コンタクト層4の表面を露出させる。このように窒化物半導体を深くエッティングするには保護膜としてSiO₂が最適である。

次にストライプ状のリッジ導波路を形成する方法について説明する。まず、Fig. 19Aに示すように、最上層のp側コンタクト層112のほぼ全面に、PVD装置により、Si酸化物(主として、SiO₂)よりなる第1の保護膜161を0.5μmの膜厚で形成した後、第1の保護膜161の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトレジストよりなる第3の保護膜163を、ストライプ幅2μm、厚さ1μmで形成する。ここで、第1の保護膜161は、特に絶縁性は問わず、窒化物半導体のエッティング速度と差がある材料であればどのような材料でも良い。例えばSi酸化物(SiO₂を含む)、フォトレジスト等が用いられ、好ましくは、後に形成する第2の保護膜との溶解度差を設けるために、第2の保護膜よりも酸に対して溶解されやすい性質を有している材料を選択する。酸としてはフッ酸を好ましく用い、そのためフッ酸に対して溶解しやすい材料として、Si酸化物を好ましく用いる。

次に、Fig. 19Bに示すように第3の保護膜163形成後、RIE(反応性イオンエッティング)装置により、CF₄ガスを用い、第3の保護膜163をマスクとして、前記第1の保護膜をエッティングして、ストライプ状とする。その後

エッチング液で処理してフォトレジストのみを除去することにより、Fig. 19 C に示すように p 側コンタクト層 112 の上にストライプ幅 2 μ m の第 1 の保護膜 161 が形成できる。

さらに、Fig. 19 D に示すように、ストライプ状の第 1 の保護膜 161 形成後、再度 RIE により SiC1 ガスを用いて、p 側コンタクト層 112、および p 側クラッド層 111、p 側光ガイド層 110 をエッチングして、p 側光ガイド層のエッチングされた領域（突出部以外の領域）における膜厚が 1000 Å となる深さのストライプ状の導波路領域として、リッジストライプを形成する。

リッジストライプ形成後、ウェーハを PVD 装置に移送し、Fig. 19 E に示すように、Zr 酸化物（主として ZrO₂）よりなる第 2 の保護膜 162 を、第 1 の保護膜 161 の上と、エッチングにより露出された p 側光ガイド層 111 の上（突出部以外の領域）に 0.5 μ m の膜厚で連続して形成する。

ここで、第 2 の保護膜の材料としては SiO₂ 以外の材料、好ましくは Ti、V、Zr、Nb、Hf、Ta よりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlN の内の少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でも Zr、Hf の酸化物、BN、SiC を用いることが特に好ましい。これらの材料はフッ酸に対しても多少溶解する性質を有しているものもあるが、レーザ素子の絶縁層にすれば埋め込み層として SiO₂ よりもかなり信頼性が高くなる傾向にある。また PVD、CVD のような気相で成膜した酸化物系薄膜は、その元素と酸素とが当量反応した酸化物となりにくいので、酸化物系薄膜の絶縁性に対する信頼性が不十分となりにくい傾向にあるが、本発明で選択した前記元素の PVD、CVD による酸化物、BN、SiC、AlN は Si 酸化物よりも絶縁性に対して信頼性に優れている傾向にある。しかも酸化物の屈折率を窒化物半導体よりも小さいもの（例えば SiC 以外のもの）を選択すると、レーザ素子の埋め込み層として非常に都合がよい。さらにまた、第 1 の保護膜 61 を Si 酸化物とすると、Si 酸化物に対して、フッ酸による選択性を有しているため、Fig. 19 E に示すようにストライプ導波路の側面、そのストライプが形成されている平面（エッチストップ層）、及び第 1 の保護膜 61 の表面に連続して形成すると、リフトオフ法により、第 1 の保護膜 161 のみを除去すると、

F i g. 1 9 F に示すような、平面に対して膜厚が均一な第2の保護膜162を形成することができる。

第2の保護膜162形成後、ウェーハを600°Cで熱処理する。このようにSiO₂以外の材料を第2の保護膜として形成した場合、第2の保護膜成膜後に、
5 300°C以上、好ましくは400°C以上、窒化物半導体の分解温度以下(120
0°C)で熱処理することにより、第2の保護膜が第1の保護膜の溶解材料(フッ
酸)に対して溶解しにくくなり、この工程を加えることがさらに望ましい。

次に、ウェーハをフッ酸に浸漬し、F i g. 1 9 F に示すように、第1の保護膜161をリフトオフ法により除去する。

10 次にF i g. 1 9 Gに示すように、p側コンタクト層112の上の第1の保護膜161が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極120を形成する。但し p電極120は100μmのストライプ幅として、この図に示すように、第2の保護膜162の上に渡って形成する。第2の保護膜形成後、既に露出させたn側コンタクト層105の表面にはTi/A1より
15 なるn電極121をストライプと平行な方向で形成する。

次に、n電極を形成するためにエッチングして露出された面でp, n電極に、
取り出し電極を設けるため所望の領域にマスクし、SiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜164を設けた後、p, n電極上にNi-Ti-Au(1000Å-
20 1000Å-8000Å)よりなる取り出し(パット)電極122, 123をそれぞれ設けた。

以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバ
ー状に劈開し、劈開面((11-00)面、六方晶系の側面に相当する面=M
面)に共振器を作製する。この共振器面にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層
25 膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してF i g. 1 に示すよ
うなレーザ素子とする。なおこの時の共振器長は800μmであった。

このレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれのパット電極をワイヤーボ
ンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、発振波長400~420n
m、発振しきい電流密度2.9kA/cm²において単一横モードでの室温連続発

振を示した。次に、レーザ光のF. F. P. を測定したところ、水平方向で16°～20°の良好な水平横モードが得られた。また、水平横モードは、比較例1とほぼ同程度に良好で、アスペクト比は、2であった。加えて、厚膜の光ガイド層により、光の閉じ込めが良好となり、比較例1に比べてリップルの発生を大幅に抑制できた。

5 [実施例14]

n側光ガイド層の膜厚が、2000Åであることを除いて、実施例13と同様に、レーザ素子を得る。得られるレーザ素子は、実施例13に比べて、横モードの制御に僅かに劣り、F. F. P. のx方向は、14°で、アスペクト比は2であるが、比較例7に比べて大幅に向上しているものである。アスペクト比が2.5以下であるため、光情報機器への応用がより簡単なものとなる。また、光の閉じ込めについては、実施例13と同様に良好で、リップルの発生も大幅に減少していた。出力特性については、p側光ガイド層とn側光ガイド層に挟まれる導波路領域の膜厚が、5000Å以上となるため、実施例13に比べて閾値電流が上昇しており、素子も実施例13に比べて劣るものであった。

10 [実施例15]

p側光ガイド層の膜厚を、3000Å、突出部以外の領域における膜厚が1000Å、すなわちエッチングをp側光ガイド層の膜厚が1000Åとなる深さで実施する他は実施例13と同様にして、レーザ素子を得る。得られるレーザ素子は、実施例13に比べて、同程度に良好なレーザ光が得られ、F. F. P. のx方向のビームの広がりは、18°であり、アスペクト比も1.4と実用に十分なものであった。更に、p側光ガイド層の膜厚を3500Åとして、p側光ガイド層の突出部の高さを2500Å（突出部以外の領域の膜厚を1000Å）としたところ、閾値電流の上昇があり、素子寿命も低下する傾向にあったが、出射される光のビーム形状については、ほぼ同程度のものであった。これは、活性層を挟む両光ガイド層の膜厚の総和が、5000Åを超えたことによる影響と思われる。

15 [実施例16]

p側光ガイド層の突出部のストライプ幅、すなわちストライプ状のリッジ導波

路の幅を $3 \mu m$ とする他は、実施例 1 3 と同様にして、レーザ素子を得る。得られるレーザ素子は、実施例 1 3 に比べて、水平横モードの制御が劣るものとなり、F. F. P. のアスペクト比は 2 と、実施例 1 3 に比べて劣るものであった。また、実施例 1 3 に比べて単一横モードでの発振の安定性に劣り、シンクの発生する不良品となる素子の割合が高くなる傾向にあった。このため、更に好ましくはストライプ幅は $2 \mu m \pm 0.5 \mu m$ ($1.5 \mu m$ 以上 $2.5 \mu m$ 以下) の範囲にあることで、横モードの制御性に素子ばらつきが少なく、レーザ光のアスペクト比も良好で、単一モード発振のレーザ素子が得られる。

[実施例 1 7]

本発明の一実施形態として、実施例 1 3 よりも長波長、具体的には $480 nm$ 以上の長波長のレーザ素子について以下説明する。C 面を正面とするサファイアよりなる異種基板 101 の上に、実施例 1 3 と同様に GaN よりなるバッファ層 2 を 200 \AA 、アンドープ GaN よりなる下地層 103 を $4 \mu m$ を成長させ、その上に Si を $1 \times 10^{19}/cm^3$ ドープした GaN よりなる n 側コンタクト層 104 を $4.5 \mu m$ 、Si ドープの In_xGa_{1-x}N よりなる中間層 105 を成長させる。この時、中間層は、省略が可能である。

(n 側クラッド層 106)

次に、TMG、アンモニア、TMA (トリメチルアルミニウム) を流し、 $1050^\circ C$ にしてアンドープ Al_xGa_{1-x}N よりなる層を 25 \AA の膜厚で成長させ、続いて TMA を止めて、シランガスを流し、Si を $1 \times 10^{19}/cm^3$ ドープした n 型 GaN よりなる層を 25 \AA の膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚 $0.2 \mu m \sim 1.5 \mu m$ 、好ましくは $0.7 \mu m$ の超格子よりなる n 側クラッド層 106 を成長させる。n 側クラッド層は、Al を含む窒化物半導体層、好ましくは Al_xGa_{1-x}N ($0 < x < 1$) を含む超格子構造とすることが望ましく、さらに好ましくは GaN と AlGaN を積層した超格子構造とする。超格子とした場合、不純物はいずれか一方の層に多くをドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が高くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。

(n 側光ガイド層 107)

続いて、シランガスを止め、TMIを流し、850°C～950°C、好ましくは880°CでアンドープIn_xGa_{1-x}Nよりなる層を10Åの膜厚で成長させ、
続いてTMIを止めて、アンドープGaNよりなる層を10Åの膜厚で成長させ
る。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚50Å～2500Å、
5 好ましくは500Å～800Å、更に好ましくは750Åの超格子よりなるn側
光ガイド層107を成長させる。

(活性層108)

続いて、TMIを流し、750°C～850°C、好ましくは820°CでアンドープIn_xGa_{1-x}Nからなる井戸層を30Å、アンドープIn_xGa_{1-x}Nからなる
10 キャップ層を10Å、続いて850°C～950°C、好ましくは880°CでアンドープのIn_xGa_{1-x}Nからなるバリア層を60Å成長させ、これを1ペアと
して合計6ペア積層した活性層108を成長させる。

(p側キャップ層109)

次にTMIを止め、TMAを流し、850°C～950°C、好ましくは880°C
15 で、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_xGa_{1-x}Nよりなるキャップ層
109を10Å以上、0.1μm以下、好ましくは100Åの膜厚で成長させる。

(p側光ガイド層110)

続いて、TMAを止め、TMIを流し、850°C～950°C、好ましくは880°Cで、アンドープIn_xGa_{1-x}Nよりなる層を10Åの膜厚で成長させ、続
いてTMIを止めて、Mgを $1 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNより
20 なる層を10Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚50Å～2500Å、好ましくは500Å～800Å、更に好ましくは750Åの超格子よりなるp側光ガイド層110を成長させる。

(p側クラッド層111)

25 続いて、TMAを流して、850°C～1050°CでアンドープAl_xGa_{1-x}Nよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、Mgを $3 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子構造を構成し、総膜厚0.2μm～1.5μm、好ましくは0.7μmの超格子よりなるp側クラッド層111を成長さ

せる。

(p側コンタクト層112)

最後に、850°C～1050°Cでp側クラッド層110の上に、Mgを1×10²⁰/cm³ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層112を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型のIn_xGa_yAl_{1-x-y}N (0≤X、0≤Y、X+Y≤1)で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaN、InGaNとすれば、p電極と最も好ましいオーム接觸が得られる。コンタクト層112は電極を構成する層であるので、1×10¹⁸/cm³以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。1×10¹⁹/cm³より低いと、電極と好ましいオーム接觸を得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成をGaN、InGaN若しくは、GaN、InGaNを含む超格子とすると、電極材料と好ましいオーム接觸が得られやすくなる。

以上の各層を積層した後、実施例13と同様に、エッチングして、n側コンタクト層4の表面を露出させ、更にストライプ状のリッジ導波路を形成して、n電極121、p電極120、誘電体多層膜164、取り出し電極122、123を形成して、レーザ素子を得る。得られるレーザ素子は、閾値電流密度2.0kA/cm²、閾値電圧4.0Vで、発振波長480nmの連続発振が確認され、100時間以上の寿命を示した。また、そのレーザ光は、F.F.P.において、ビーム形状の水平方向(x方向)が広く17°程度であり、アスペクト比も1.5程度と良好なものであった。長波長のレーザ素子でも、良好なレーザ光で、発振しきい電流も低く良好なもので、寿命特性も良好なものが得られる。

[実施例18]

p側光ガイド層の膜厚を2000Åとする他は、実施例17と同様にしてレーザ素子構造の各層を積層する。続いて実施例13と同様にして、エッチングによりリッジ導波路を形成し、レーザ素子を得る。この時、エッチング深さは、p型光ガイド層のエッチングされた領域(突出部以外の領域)における膜厚が1500Åとなる深さであり、p側光ガイド層に突出部が設けられたリッジストライプを形成する。

得られるレーザ素子は、閾値電流密度2.0kA/cm²、閾値電圧4.0Vで、

発振波長 470 nm の連続発振が確認され、1000 時間以上の寿命を示した。

また、そのレーザ光は、F. F. P. において、ビーム形状の水平方向 (x 方向) が広く 17° 程度であり、アスペクト比も 1.5 程度と良好なものであった。長波長のレーザ素子でも、良好なレーザ光で、発振しきい電流も低く良好なもので、寿命特性も良好なものが得られる。

5 [比較例 7]

p 側光ガイド層、及び n 側光ガイド層の膜厚が、1000 Å であることを除いて、実施例 13 と同様にレーザ素子を形成した。得られたレーザ素子は、同程度の発振しきい電流であったが、F. F. P. において、x 方向の広がりが狭く 10 8° 程度であり、そのアスペクト比も 3.2 程度であった。

以下に、本発明に基づく変形例を Fig. 13 から Fig. 16 を用いて説明するが、図中同一番号は上記説明と同一部分を示す。

[変形例 1]

(n 側クラッド層ー活性層ー p 側第 2 クラッド層)

15 変形例として、基板の上に表 1 に示す n 側コンタクト層～p 側コンタクト層まで順に積層し、エッチングにより、ストライプ状の導波路を形成し、更に n 側コンタクト層を露出させ、これらのコンタクト層に p, n 電極を形成して、Fig. 13 に示すレーザ素子を得る。この時、ストライプ状の導波路を形成する際のエッチング深さとしては、p 側第 2 クラッド層の膜厚が 0.1 μ m となる位置より 20 下 (活性層に近づく方向) で、活性層よりも上 (活性層に達しない深さ) となる深さである。

得られるレーザ素子は、光ガイド層と p 側第 1 クラッド層を有しているレーザ素子に比べて、駆動電流が大幅に上昇する傾向にあり、100 mA 近傍のものもあった。

25

表 1

組成 および 膜厚	
n 側コンタクト層	Si ($1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) ドープの GaN 膜厚 4.5 μ m
クラック防止層	Si ドープの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 膜厚 0.15 μ m

n側クラッド層	アンドープの $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 25ÅとSi($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 25Åとを交互に積層 総膜厚 $1.2 \mu \text{m}$
活性層	SiドープのGaNの障壁層(B)、アンドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 40Åの井戸層(W)を、(B)-(W)-(B)-(W)-(B)-(W)-(B)の順に積層し、障壁層の膜厚は最上層と最下層では300Åとし、それ以外は150Åとする 総膜厚1020Å
p側第2クラッド層	$\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 25ÅとMg($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 25Åとを交互に積層 総膜厚 $0.6 \mu \text{m}$
p側コンタクト層	Mg($1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$)ドープのGaN

[変形例2]

(n側クラッド層ー活性層ーp側第1クラッド層ーp側第2クラッド層)

変形例として、基板の上に表2に示すn側コンタクト層～p側コンタクト層まで順に積層し、エッチングにより、ストライプ状の導波路を形成し、更にn側コンタクト層を露出させ、これらのコンタクト層にp, n電極を形成して、Fig. 14に示すレーザ素子を得る。この時、ストライプ状の導波路を形成する際のエッチング深さとしては、p側第2クラッド層の膜厚が $0.1 \mu \text{m}$ となる位置より下(活性層に近づく方向)で、活性層よりも上(活性層に達しない深さ)となる深さである。

得られるレーザ素子は、変形例1に比べて、駆動電流が $1.0 \sim 2.0 \text{ mA}$ 程度低くなる傾向にある。

表2

組成 および 膜厚	
n側コンタクト層	Si($1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 膜厚 $4.5 \mu \text{m}$
クラック防止層	Siドープの $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 膜厚 $0.15 \mu \text{m}$
n側クラッド層	アンドープの $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 25ÅとSi($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 25Åとを交互に積層 総膜厚 $1.2 \mu \text{m}$
活性層	SiドープのGaNの障壁層(B)、Si($5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$)ドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 40Åの井戸層(W)を、(B)-(W)-(B)-(W)-(B)-(W)-(B)の順に積層し、障壁層の膜厚は最上層と最下層では300Åとし、それ以外は150Åとする 総膜厚1020Å

p 側第1クラッド層	Mg ($1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$) ドープの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 膜厚100 Å
p 側第2クラッド層	$\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 25 Å と Mg ($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$) ドープの GaN 25 Å とを交互に積層 総膜厚0.6 μm
p 側コンタクト層	Mg ($1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$) ドープの GaN

[変形例 3]

(n 側クラッド層 - n 側光ガイド層 - 活性層 - p 側光ガイド層 - p 側第2クラッド層)

5 变形例として、基板の上に表3に示すn側コンタクト層～p側コンタクト層まで順に積層し、エッティングにより、ストライプ状の導波路を形成し、更にn側コンタクト層を露出させ、これらのコンタクト層にp, n電極を形成して、Fig. 15に示すレーザ素子を得る。この時、ストライプ状の導波路を形成する際のエッティング深さとしては、p側第2クラッド層の膜厚が0.1 μmとなる位置より
10 下（活性層に近づく方向）で、活性層よりも上（活性層に達しない深さ）となる深さである。図では、ストライプ状のリッジ導波路がp側光ガイド層110に達する深さで形成されている。

得られるレーザ素子は、p側第1クラッド層を有するレーザ素子に比べて、駆動電圧Vfが、下がる傾向にあるものの、閾値電流が5～6倍に上昇する傾向に
15 あり、得られるレーザ素子の大部分がレーザ発振を示さない傾向にある。

表3

組成 および 膜厚	
n側コンタクト層	Si ($1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) ドープの GaN 膜厚4.5 μm
クラック防止層	Si ドープした $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 膜厚0.15 μm
n側光ガイド層	アンドープの GaN 膜厚0.2 μm
活性層	Si ドープの GaN 100 Å の障壁層(B)、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 40 Å の井戸層(W)を、(B)-(W)-(B)-(W)-(B)-(W)-(B)の順に積層 総膜厚420 Å
p側光ガイド層	Mg ($5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$) ドープの GaN 膜厚0.2 μm

p側第2クラッド層	Al _{0.15} Ga _{0.85} N 25ÅとMgを1×10 ¹⁹ /cm ³ ドープしたGaN 25Åとを交互に積層 総膜厚0.7μm
p側コンタクト層	Mgを1×10 ²⁰ /cm ³ ドープしたGaN

(長波長域のレーザ素子)

本発明のレーザ素子において、450nm以上、具体的には450以上520nm以下の、青色～緑色の長波長領域では、以下の層構成とすることが好ましい。
5 ただし、本発明は、この波長域に限定されるものではない。

長波長域において、活性層として、井戸層、障壁層に加えて、その間に中間層を設けることが発振特性の向上につながり好ましい。

短波長域、具体的には450nm以下の波長域、に用いる活性層では、InGaNからなる井戸層、その井戸層よりバンドギャップエネルギーの大きい障壁層で挟んだ量子井戸構造で、具体的にはInGaNからなる井戸層とその井戸層とは混晶比若しくは組成の異なるAlGaNからなる障壁層を用いる。このような構造として、障壁層／井戸層／障壁層の単一量子井戸構造(SQW)、井戸層と障壁層とを繰り返し積層した多重量子井戸構造(MQW)が用いられている。
10 しかし、この井戸層と障壁層とは、混晶比もしくは組成が異なるため、それぞれの層成長時に適した温度が異なることとなり、その成長が困難な傾向になる。この場合、井戸層の上に、それよりも成長温度を高くして障壁層を成長することとなる。これは、InNを有する井戸層において、障壁層成長時の昇温過程で、InNの分解が発生し、発光ピークの鋭いものが得られなくなる。また、障壁層を井戸層とほぼ同じ温度で形成したとしても、活性層の形成後に続く、他の層(クラッド層、ガイド層)を形成する際にも、良好な結晶成長のためには昇温過程が必要となる。このような成長困難性は、発振波長が長くなるにつれて、顕著なものとなる傾向にあり、上記長波長域では中間層を設けることが好ましい。

このため、上記中間層を介することで、上記昇温による問題を解決できる。この中間層を設けることで、上記InNの分解を部分的なものとして観察される傾向にあり、また中間層そのものが凹凸を呈する表面形態として観察される傾向にあり、これらのことが駆動電圧や閾値電圧の大幅な低下に寄与しているものと考えられる。この中間層は、井戸層と障壁層との間に設けるものであり、そのバン

ドギャップエネルギーが、障壁層よりも大きいものである。この中間層は、活性層がMQWである場合には、少なくとも1層の井戸層上に設ける必要があり、全ての井戸層の上に設けることで、井戸層上の障壁層の全てについて上記問題が解決でき好ましい。

5 また、中間層の膜厚としては、障壁層の膜厚より薄くして、1原子層以上100 Å以下の範囲とすることが好ましい。これは膜厚が100 Å以上となることで、中間層と障壁層との間にミニバンドが形成され、発振特性が悪化する傾向にあるためである。この時の障壁層としては、10 Å以上400 Å以下の範囲とする。更に、中間層の組成として、好ましくは $Al_uGa_{1-u}N$ ($0 \leq u \leq 1$) とすることで、上記Inの部分的な分解、中間層の表面形態による駆動電圧や閾値電圧の低下傾向を示し、更に好ましくは、 $Al_vGa_{1-v}N$ ($0.3 \leq v \leq 1$) とすることで上記各電圧の低下を大きくすることができる。

[変形例4]

15 基板上に、以下の表4に示すn側コンタクト層～p側コンタクト層を順に積層して、レーザ素子構造を形成した。次に、ストライプ幅1.8 μm、p側コンタクト層側からp側第1クラッド層の膜厚が500 Åとなる深さまで、エッチングすることで、ストライプ状のリッジ導波路を形成し、その他は実施例と同様に、更にエッチングによりn側コンタクト層を露出させ、各コンタクト層の上に、p, n電極を形成して、チップを取り出してレーザ素子を得た。

20 得られたレーザ素子は、波長450 nmであり、室温において閾値電流密度2.0 k A/cm²、で1000時間以上の連続発振が確認された。これは、ストライプ状の導波路形成時のエッチング深さが、p側第2クラッド層の膜厚が1 μmとなる位置よりも上であるレーザ素子に比べて、優れた素子寿命、横モードの制御性を示し、また、エッチング深さがそれよりも深く、p側光ガイド層に達しない深さのレーザ素子に比べても、横モードの制御性、F. F. P. におけるアスペクト比に優れたものが得られる。

表4

組成 および 膜厚	
n側コンタクト層	Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaN 膜厚 $4.5 \mu \text{m}$
クラック防止層	Siをドープした $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 膜厚 $0.15 \mu \text{m}$
n側クラッド層	アンドープの $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 25 \AA とSi($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 25 \AA とを交互に積層 総膜厚 $1.2 \mu \text{m}$
n側光ガイド層	アンドープのGaN 膜厚 750 \AA
活性層 ¹	アンドープの $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 100 \AA の障壁層(B)、アンドープの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 10 \AA の中間層(M)、アンドープの $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 50 \AA の井戸層(W)を、(B)-(W)-(M)-(B)-(W)-(M)-(B)-(W)-(M)-(B)の順に積層 総膜厚 580 \AA
p側第1クラッド層	Mg($1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 膜厚 100 \AA
p側光ガイド層	Mg(5×10^{16})ドープのGaN 膜厚 $0.1 \mu \text{m}$
p側第2クラッド層	アンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 25 \AA とMg($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 25 \AA とを交互に積層 総膜厚 $0.6 \mu \text{m}$
p側コンタクト層	Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたGaN 膜厚 150 \AA

*1 井戸層(W)は、 820°C で成長させ、 880°C で中間層(M)、障壁層(B)を成長させる

なお、図中108aは中間層、108bは井戸層、108cは障壁層を示す。

5

[変形例5]

基板上に積層する素子構造が、以下の表の通りであることを除いて、変形例4と同様にして、レーザ素子を得る。

得られるレーザ素子は、発振波長が 510nm であり、良好なレーザ素子が得られる。変形例4に比べて、活性層をMQWからSQWとしたことによる素子特性の低下は僅かなものとなる傾向にあるが、活性層中の中間層がGaNであることにより、中間層を設けることによる効果が低くなる傾向がみられる。

表5

組成 および 膜厚	
n側コンタクト層	Si($1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$)ドープのGaN 膜厚 $4.5 \mu \text{m}$
クラック防止層	Siドープの $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 膜厚 $0.15 \mu \text{m}$

n側クラッド層	アンドープの $Al_{0.16}Ga_{0.84}N$ 25ÅとSi($1 \times 10^{19} / cm^3$)ドープのGaN 25Åとを交互に積層 総膜厚1.2μm
n側光ガイド層	GaN 膜厚750Å
活性層*	$In_{0.28}Ga_{0.72}N$ 150Åの障壁層(B)、GaN 10Åの中間層(M)、Si($5 \times 10^{18} / cm^3$)ドープの $In_{0.50}Ga_{0.50}N$ 50Åの井戸層(W)を、(B)-(W)-(M)-(B)の順に積層 総膜厚360Å
p側第1クラッド層	Mg($1 \times 10^{20} / cm^3$)ドープのGaN 膜厚100Å
p側光ガイド層	Mg($5 \times 10^{16} / cm^3$)ドープのGaN 膜厚0.1μm
p側第2クラッド層	$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 25ÅとMg($1 \times 10^{19} / cm^3$)ドープのGaN 25Åとを交互に積層 総膜厚0.6μm
p側コンタクト層	Mgを $1 \times 10^{20} / cm^3$ ドープしたGaN 膜厚150Å

*2 井戸層(W)は、820°Cで成長させ、880°Cで中間層(M)、障壁層(B)を成長させる

産業上の利用の可能性

5 このように本発明によれば、短波長のレーザ素子が実現できるようになり、DVD、CD等の書き込み、読み取り光源として、また光ファイバー等の通信用光源としてその産業上の利用価値は多大である。

請求の範囲

1. 活性層と、その上に少なくともp側クラッド層と、p側コンタクト層とが少なくとも順に積層され、該p側コンタクト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、

前記エッチングにより設けられたストライプの幅が、狭ストライプ領域1～3 μm の範囲であり、

前記エッチングの深さが、活性層よりも上で、前記p側クラッド層の残り膜厚が0.1 μm となる位置よりも下であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

2. 前記エッチングにより露出されたストライプの両側面及びその側面に連続した窒化物半導体の平面に、Si酸化物以外の絶縁膜が形成され、該絶縁膜を介して前記ストライプの最上層である前記p側コンタクト層表面に電極が形成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体レーザ素子。

3. 前記ストライプの幅が、1.2～2 μm であることを特徴とする請求項1又は2記載の窒化物半導体レーザ素子。

4. 前記絶縁膜がTi、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlNの内の少なくとも一種からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

5. 活性層と、その上に少なくともp側クラッド層と、p側コンタクト層とが少なくとも順に積層され、該p側コンタクト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、前記ストライプ状の導波路領域が、第1のp型窒化物半導体を含むp側クラッド層の上に、第2のp型窒化物半導体を含むp側コンタクト層を積層した後、そのp側コンタクト層の表面に、ストライプ状の第1の保護膜を形成する第1の工程と、

第1の保護膜を介して、該第1の保護膜が形成されていない部分の窒化物半導体をエッチングして、保護膜直下部分にストライプ状の導波路領域を形成する第

2の工程と、

第2の工程後、第1の保護膜と異なる材料であつて、絶縁性を有する第2の保護膜を、ストライプ導波路の側面及びエッティングされて露出した窒化物半導体層の平面に形成する第3の工程と、

5 第3の工程後、第1の保護膜を除去する第4の工程から形成されることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

6. 活性層と、その上に少なくともp側光ガイド層と、p側クラッド層と、p側コンタクト層とが積層され、該p側コンタクト層側から上記活性層上方までエッティングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であつて、

前記p側光ガイド層が狭ストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上にp型窒化物半導体層を有し、該p側光ガイド層の突出部の膜厚が $1 \mu m$ 以下であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

7. 前記p側光ガイド層の突出部及び、該突出部上のp型窒化物半導体層が、p型窒化物半導体層側からエッティングすることにより形成されたストライプ状のリッジ導波路である請求項6記載の窒化物半導体レーザ素子。

8. 前記突出部におけるp側光ガイド層の膜厚が、 1500 \AA 以上 4000 \AA 以下の範囲である請求項6又は7記載の窒化物半導体レーザ素子。

9. 前記p側光ガイド層は、前記突出部以外の領域における膜厚が 500 \AA ～ 1000 \AA の範囲である請求項6乃至8記載のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

10. 前記突出部のストライプ幅が、 $1 \mu m$ 以上 $3 \mu m$ 以下の範囲である請求項6乃至9記載のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

11. 前記p側光ガイド層において、突出部の高さが 100 \AA 以上である請求項6乃至10記載のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

12. 前記p側光ガイド層は、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) である請求項6乃至11記載のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

13. 活性層と、その両側に少なくともn側、p側光ガイド層と、n側、p側クラッド層と、n側、p側コンタクト層とがそれぞれ積層され、該p側コンタクト

層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、

前記 p 側光ガイド層が、 n 側光ガイド層の膜厚より厚いことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

5 14. 前記 p 側光ガイド層のストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上に p 型窒化物半導体層を有し、該 p 側光ガイド層の突出部の膜厚が $1 \mu m$ 以下である請求項 1 3 記載の窒化物半導体レーザ素子。

10 15. 前記 p 側光ガイド層の突出部及び、該突出部上の p 型窒化物半導体層が、 p 型窒化物半導体層側からエッチングすることにより形成されたストライプ状のリッジ導波路である請求項 1 3 又は 1 4 記載の窒化物半導体レーザ素子。

16. 前記 p 側光ガイド層の膜厚が、 2500 \AA 以上である請求項 1 3 乃至 1 5 記載のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

15 17. 前記 p 側光ガイド層は、突出部以外の領域における膜厚が、 $500 \text{ \AA} \sim 1000 \text{ \AA}$ である請求項 1 3 乃至 1 6 記載のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

18. 前記突出部のストライプ幅が、 $1 \mu m$ 以上 $3 \mu m$ 以下である請求項 1 3 乃至 1 7 記載のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

19. 前記 p 側光ガイド層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) である請求項 1 3 乃至 1 8 記載のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

20 20. 活性層と、その上に少なくとも p 側第 1 クラッド層と、 p 側光ガイド層と、 p 側第 2 クラッド層と、 p 側コンタクト層とが積層され、該 p 側コンタクト層側から上記活性層上方までエッチングされて、ストライプ状の導波路領域が設けられた実効屈折率型窒化物半導体レーザ素子であって、

前記 p 側光ガイド層が狭ストライプ状の突出部を有すると共に、該突出部の上に p 型窒化物半導体層を有し、該 p 側光ガイド層の突出部の膜厚が $1 \mu m$ 以下であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

21. 前記 p 側第 1 クラッド層がキャリア閉じ込め層であって、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 0.5$) から成り、前記 p 側第 2 クラッド層が光閉じ込め層であって $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.5$: $y > z$) から成る請求項 2 0 記載の窒化物半

導体レーザ素子。

22. 前記p側第1クラッド層が少なくとも2層からなり、第1層が窒素雰囲気で形成されたAl_{1-y}Ga_yN (0 < y < 0.5) から成り、第2層が水素雰囲気で形成されたAl_{1-y}Ga_yN (0 < y < 0.5) から成る請求項20記載の窒化物半導体レーザ素子。

23. 前記p側第1クラッド層がAl_{1-y}Ga_yN (0 < y < 0.35) からなる請求項20乃至22記載のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

1/14

Fig. 1

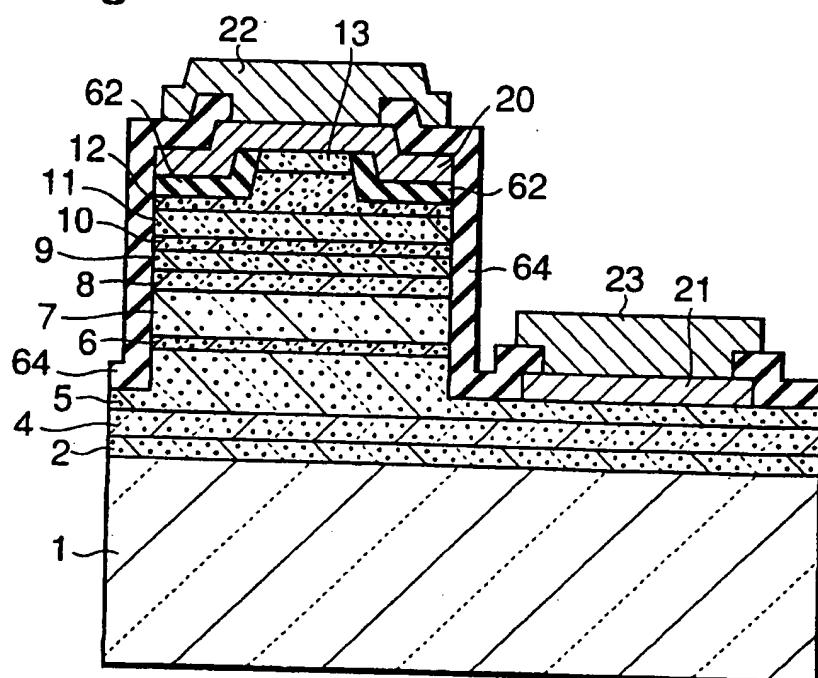
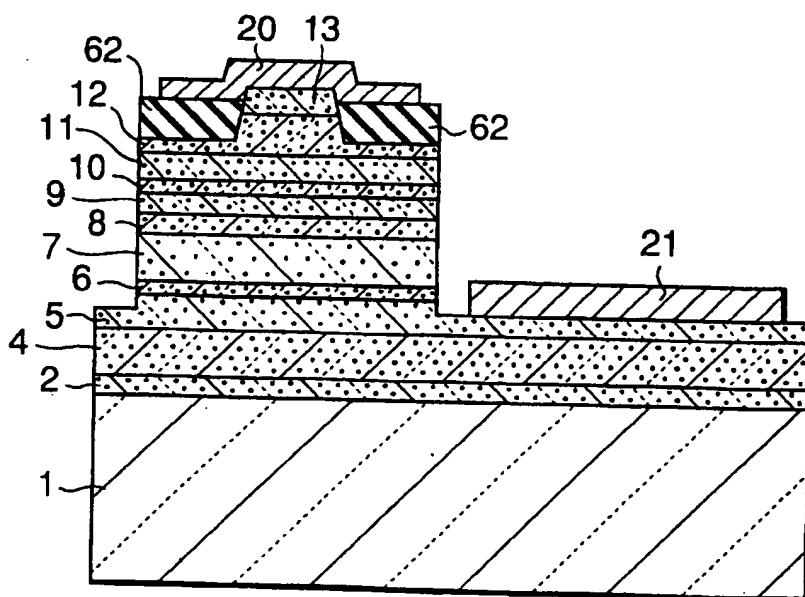


Fig. 2



2/14

Fig.3A

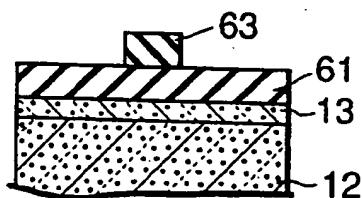


Fig.3B

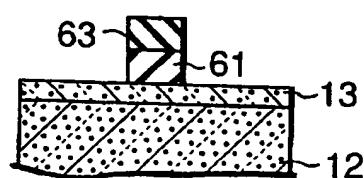


Fig.3C

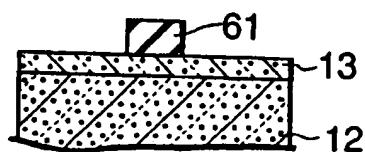


Fig.3D

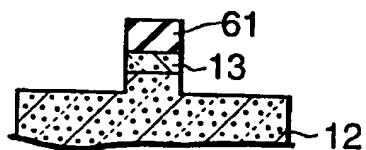


Fig.3E

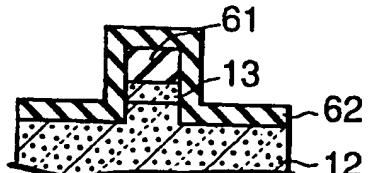


Fig.3F

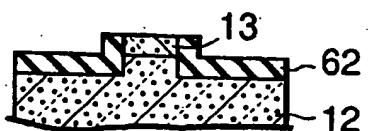


Fig.3G

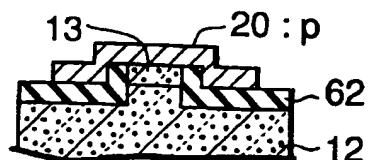
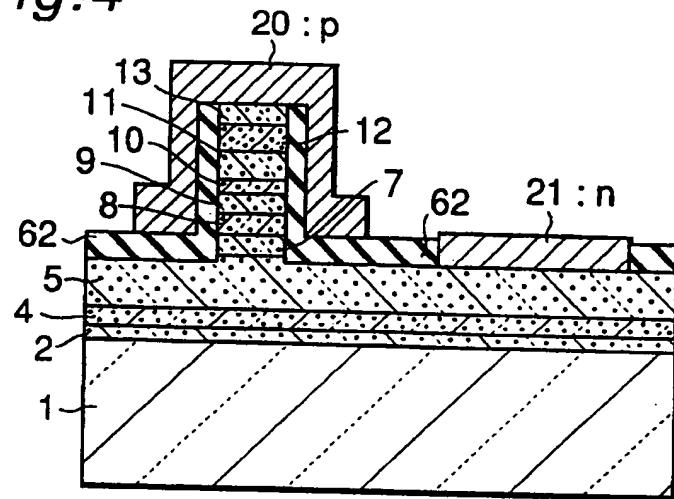


Fig.4



4/14

Fig.5

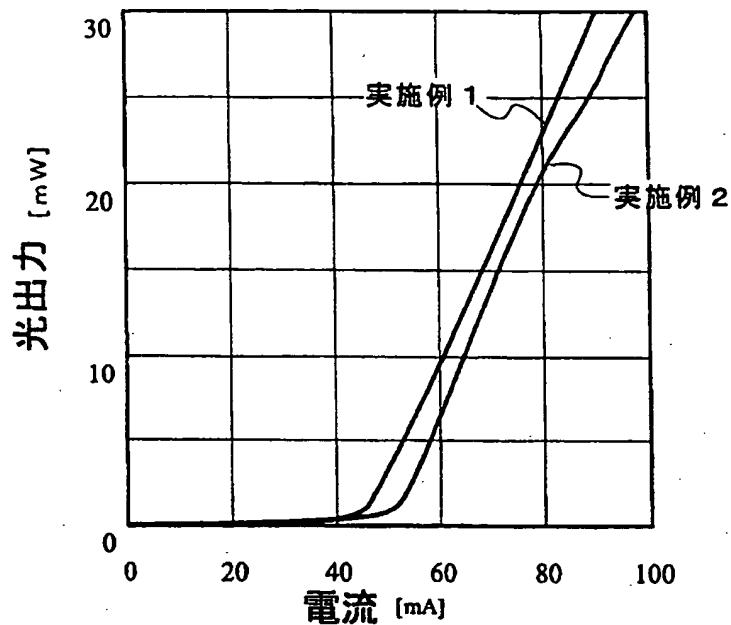
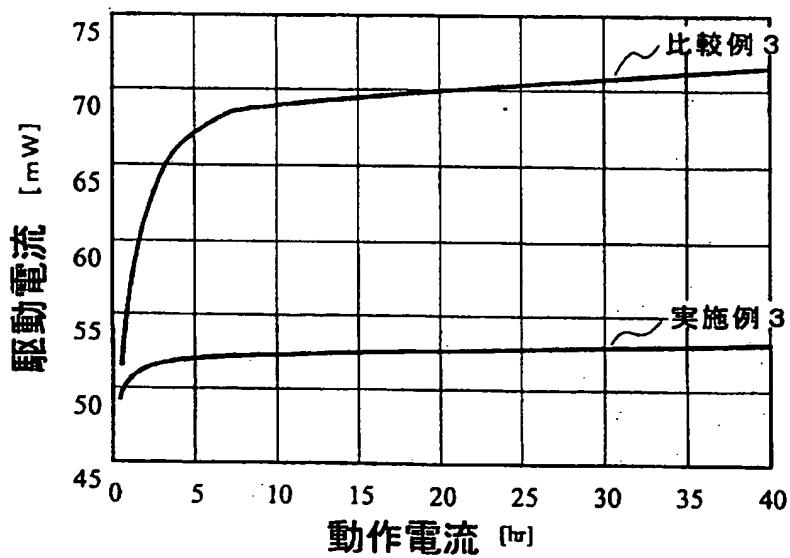


Fig.6



5/14

Fig.7

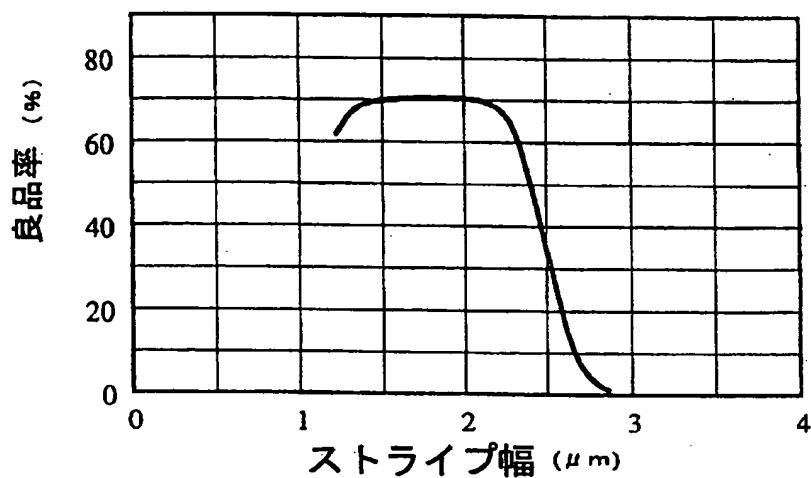
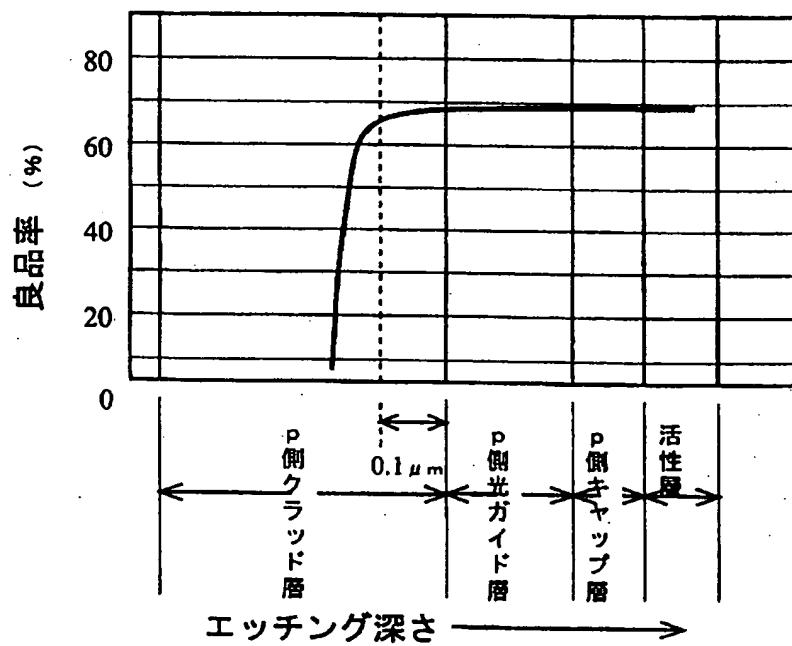


Fig.8



6/14

Fig. 9

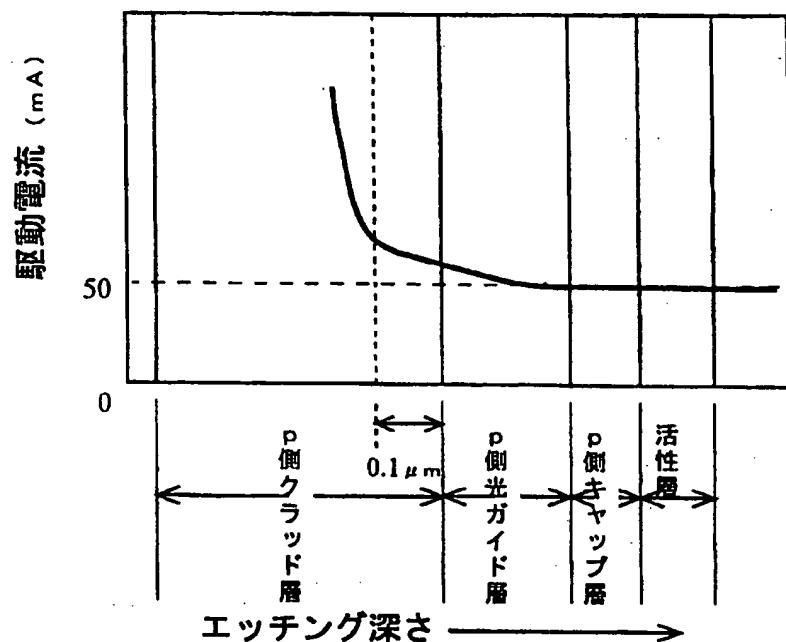
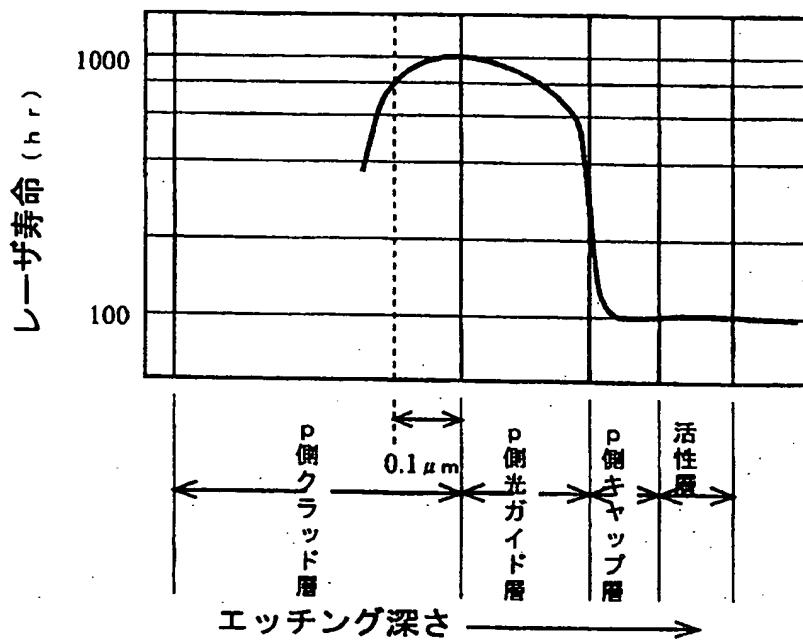
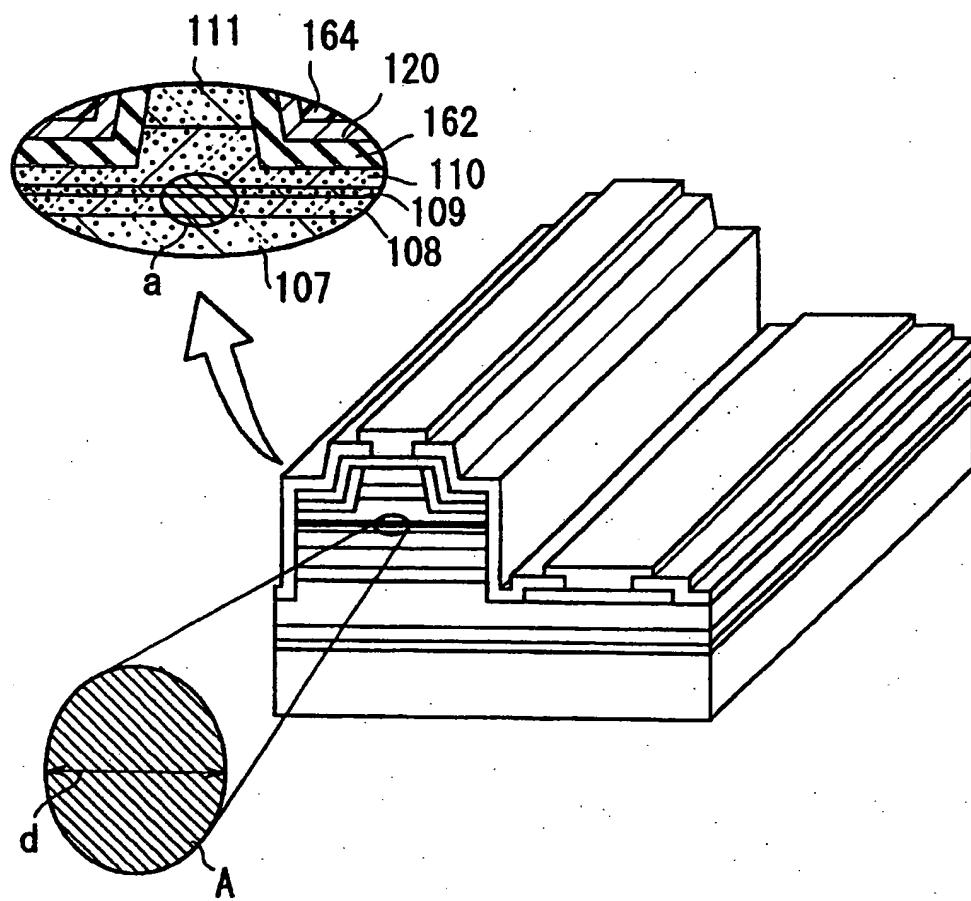


Fig. 10



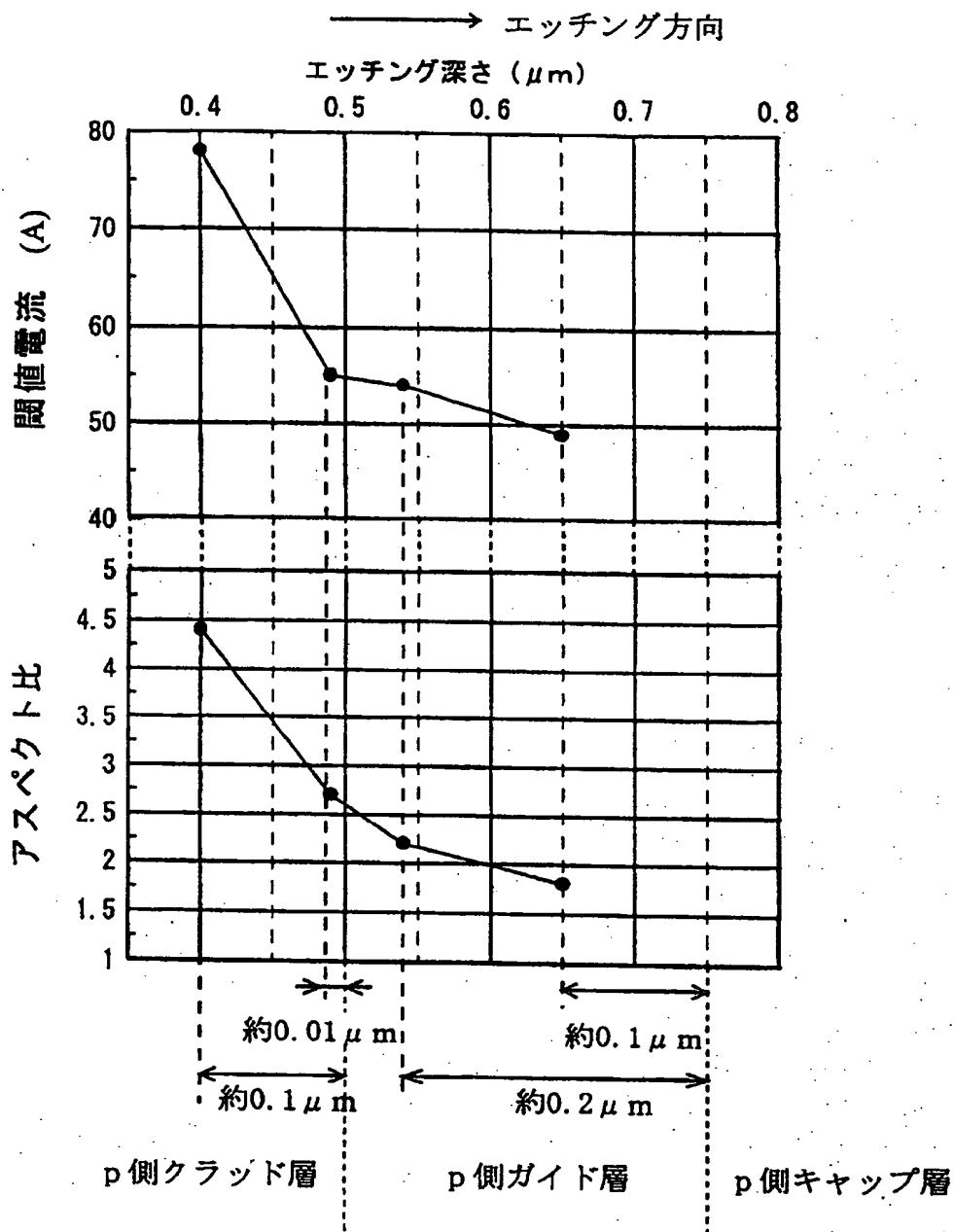
7/14

Fig. 11



8/14

Fig. 12



9/14

Fig. 13

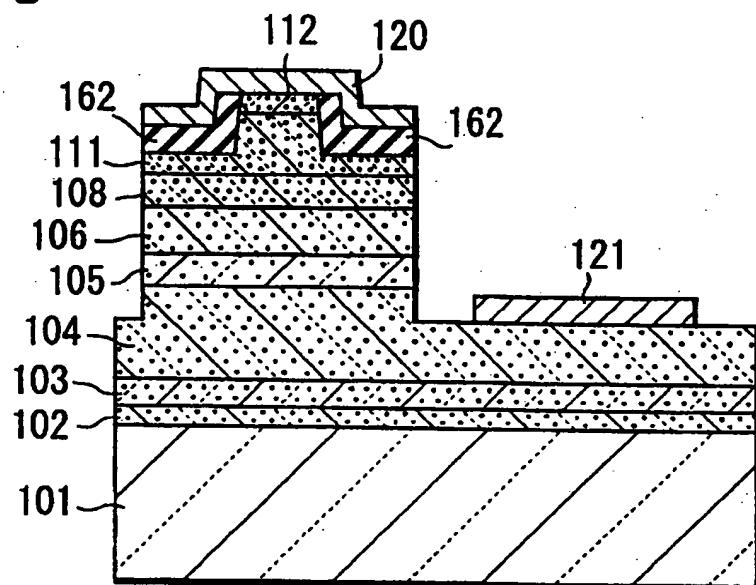
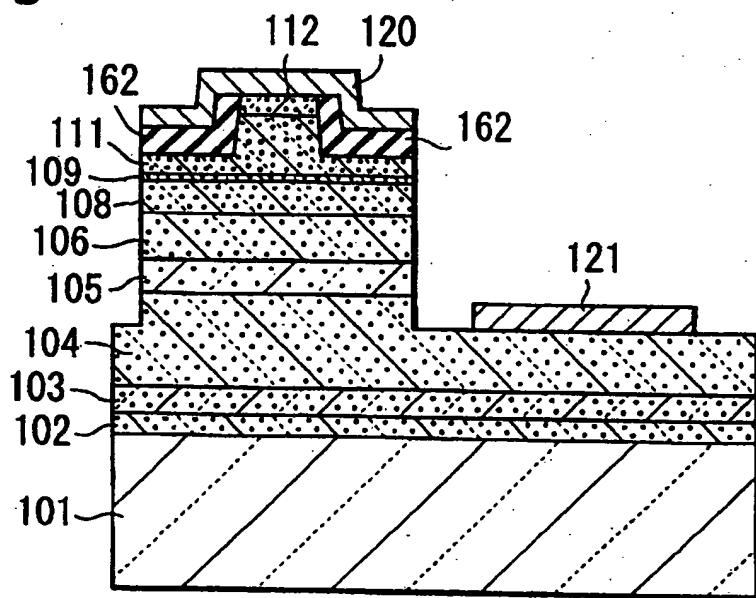


Fig. 14



10/14

Fig. 15

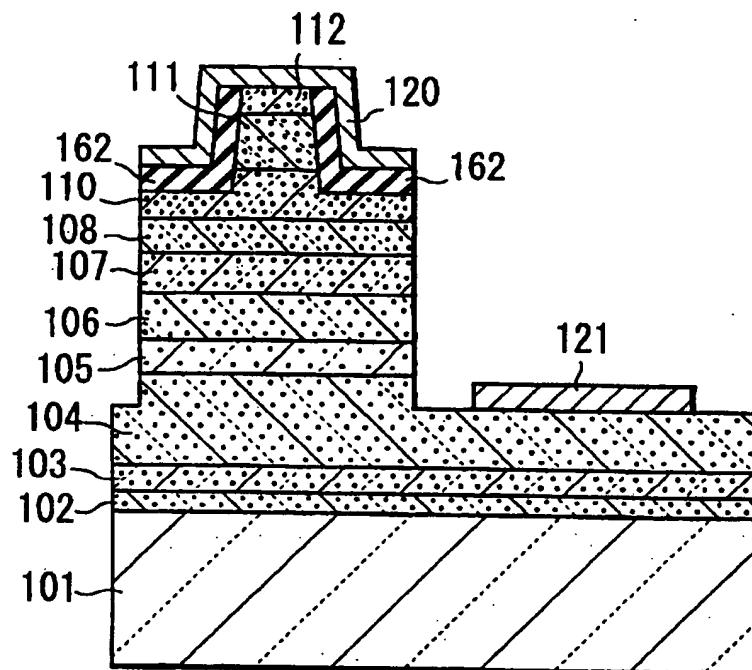
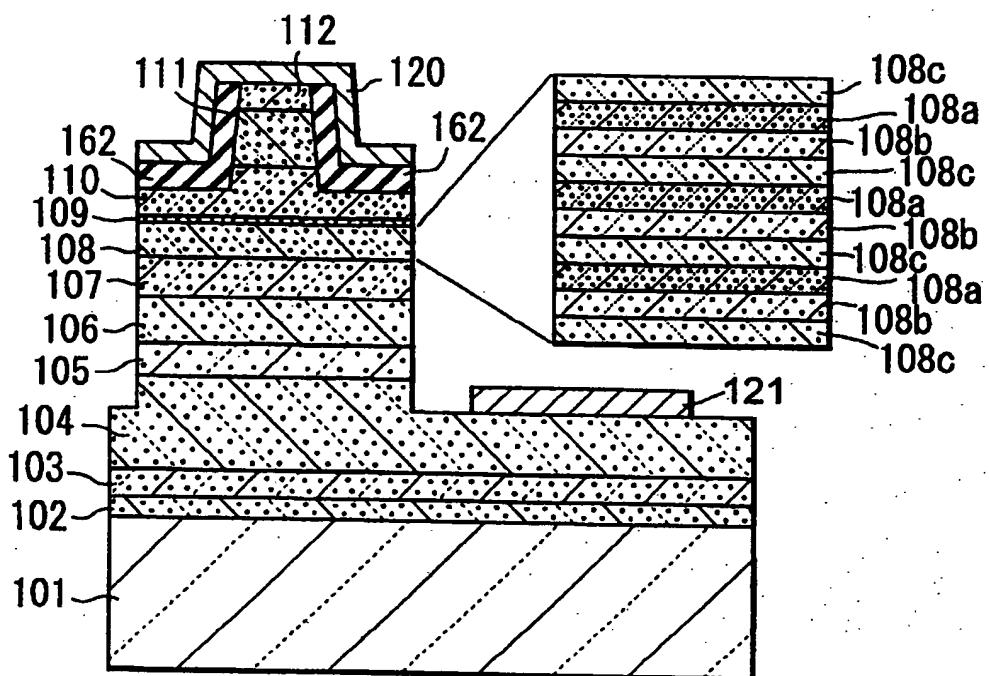
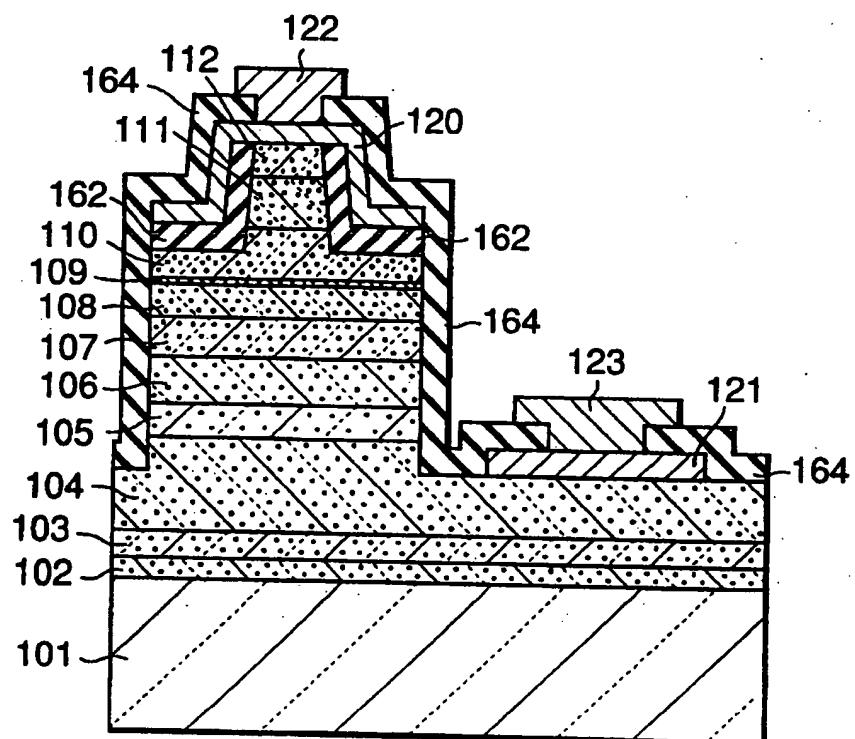


Fig. 16



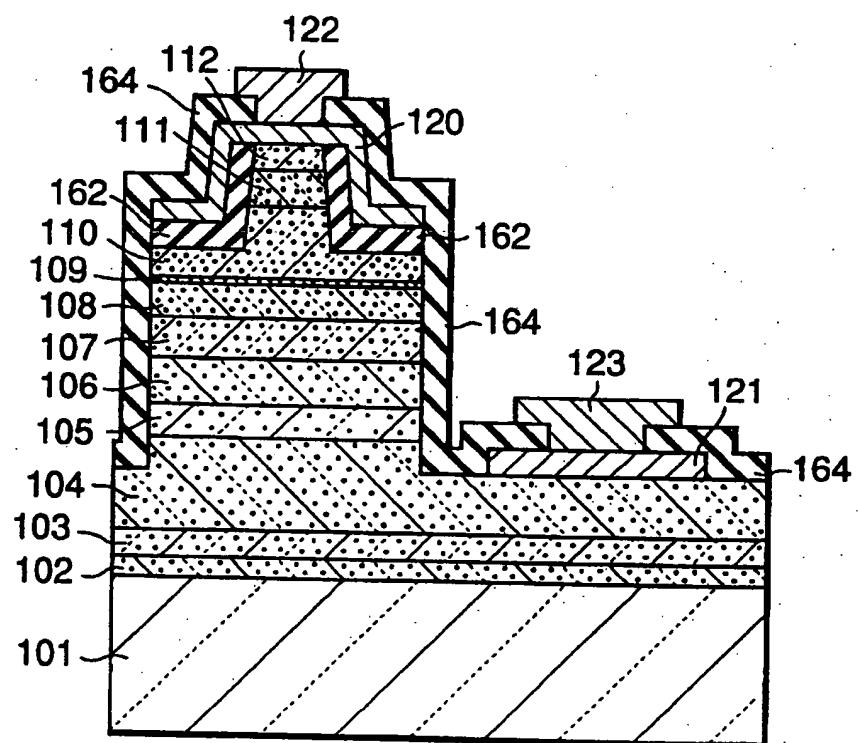
11/14

Fig. 17



12/14

Fig. 18



13/14

Fig.19A

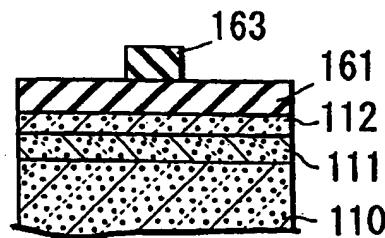


Fig.19B

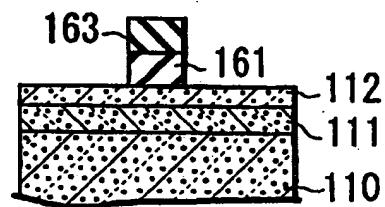


Fig.19C

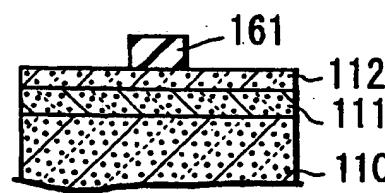


Fig.19D

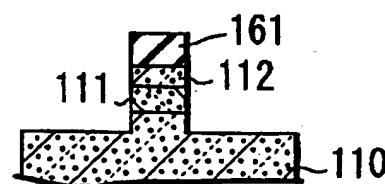


Fig.19E

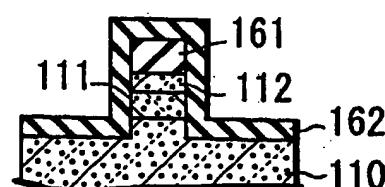


Fig.19F

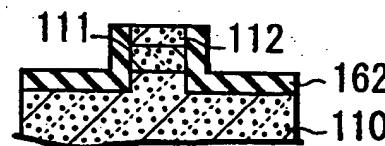


Fig.19G

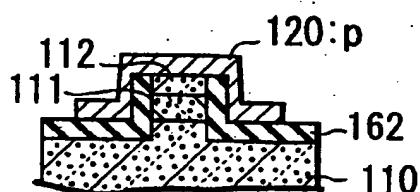
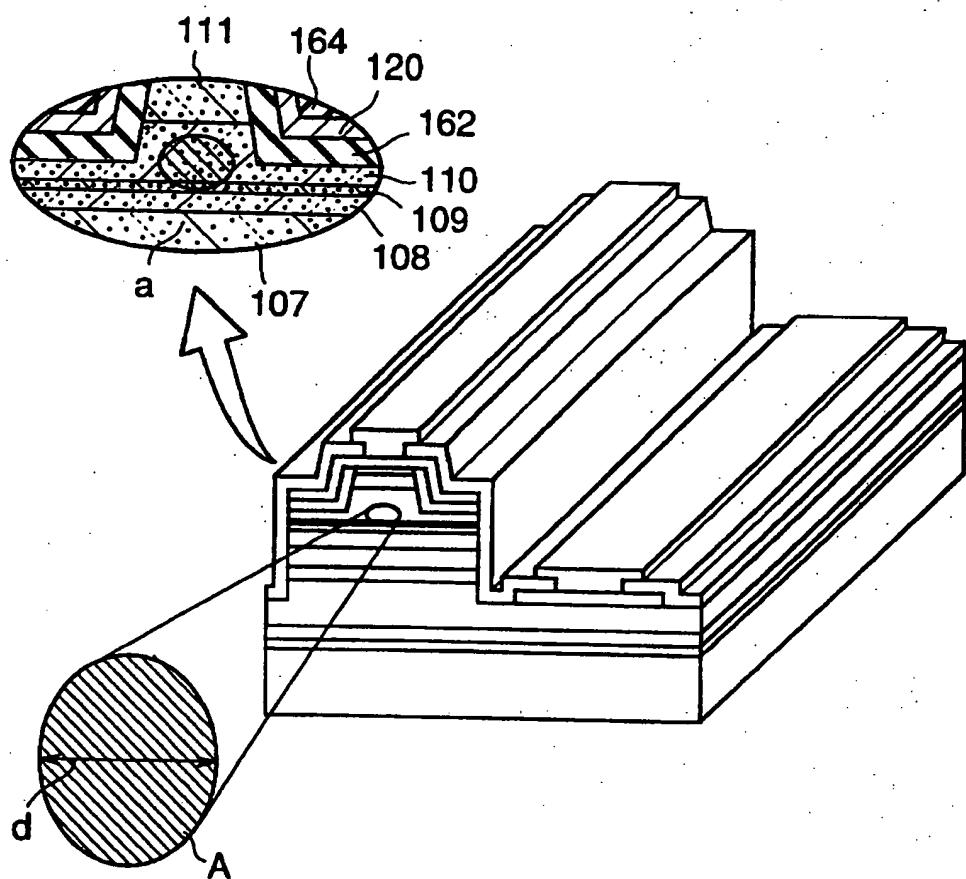


Fig.20



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01308

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S 5/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01S 5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 9-246651, A (Nichia Chemical Industries Ltd.), 19 September, 1997 (19.09.97), Par. Nos. 25 to 28; Fig. 3 (Family: none)	1, 3, 4, 6-8, 10, 12, 20
X	JP, 10-321962, A (Sharp Corporation), 04 December, 1998 (04.12.98), Par. Nos. 29 to 45; Figs. 1, 2 (Family: none)	1, 3, 5
X	JP, 11-40893, A (Toshiba Corporation), 12 February, 1999 (12.02.99), Par. Nos. 22 to 26, 30; Fig. 1 (Family: none)	6, 7, 10, 12, 18-20
Y	Par. Nos. 22 to 26, 30; Fig. 1 (Family: none)	9, 11, 14, 15
X	JP, 9-260772, A (Nichia Chemical Industries Ltd.), 03 October, 1997 (03.10.97), Par. Nos. 16, 21, 24, 26, 38 to 39; Fig. 7 (Family: none)	6-8, 10, 12, 20
Y	Par. Nos. 16, 21, 24, 26, 38 to 39; Fig. 7 (Family: none)	9, 11, 14-17
Y	JP, 10-270792, A (Sharp Corporation), 09 October, 1998 (09.10.98), Par. No. 10; Fig. 1 & WO, 98/44606, A1	2, 4
Y	JP, 10-294529, A (Toshiba Corporation), 04 November, 1998 (04.11.98),	13

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

“A”	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“T”	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“E”	earlier document but published on or after the international filing date	“X”	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L”	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y”	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O”	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&”	document member of the same patent family
“P”	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 20 June, 2000 (20.06.00)	Date of mailing of the international search report 04.07.00
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01308

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	Par. No. 123; Fig. 13 (Family: none)	
Y	JP, 10-242565, A (Pioneer Electronic Corporation), 11 September, 1998 (11.09.98), Par. Nos. 3, 4; Fig. 9 (Family: none)	13
Y	JP, 10-290027, A (Toshiba Corporation), 27 October, 1998 (27.10.98), Par. Nos. 65 to 67; Fig. 6 (Family: none)	21-23
A	JP, 9-293935, A (Toshiba Corporation), 11 November, 1997 (11.11.97), Par. Nos. 184 to 189; Fig. 23 (Family: none)	21-23
A	JP, 10-256645, A (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.), 25 September, 1998 (25.09.98), Par. Nos. 35, 36; Figs. 7, 11 (Family: none)	13
A	JP, 4-144294, A (SEIKO EPSON CORPORATION), 18 May, 1992 (18.05.92), Full text; all drawings (Family: none)	13
P,X	JP, 2000-31599, A (Sony Corporation) 28.January.2000(28.01.00) Par.Nos. 21-22 (Family: none)	1,5

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP00/01308

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' H01S 5/22

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' H01S 5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2000年
日本国登録実用新案公報	1994-2000年
日本国実用新案登録公報	1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 9-246651, A(日亜化学工業株式会社) 19.9月. 1997 (19.09.97) 第25-28段落, 図3 (ファミリーなし)	1, 3, 4, 6-8, 10, 12, 20
X	JP, 10-321962, A(シャープ株式会社) 4.12月. 1998 (04.12.98) 第29-45段落, 図1, 2 (ファミリーなし)	1, 3, 5
X	JP, 11-40893, A(株式会社東芝) 12.2月. 1999 (12.02.99) 第22-26, 30段落, 図1	6, 7, 10, 12, 18-20
Y	(ファミリーなし)	9, 11, 14, 15

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20. 06. 00

国際調査報告の発送日

0407.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

近藤 幸浩

2K 9814

印

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 9-260772, A(日亜化学工業株式会社)3. 10月. 1997(03. 10. 97) 第16, 21, 24, 26, 38-39段落, 図7 (ファミリーなし)	6-8, 10, 12, 20 9, 11, 14-17
Y	JP, 10-270792, A(シャープ株式会社)9. 10月. 1998(09. 10. 98) 第10段落, 図1 & WO, 98/44606, A1	2, 4
Y	JP, 10-294529, A(株式会社東芝)4. 11月. 1998(04. 11. 98) 第123段落, 図13 (ファミリーなし)	13
Y	JP, 10-242565, A(パイオニア株式会社)11. 9月. 1998(11. 09. 98) 第3, 4段落, 図9 (ファミリーなし)	13
Y	JP, 10-290027, A(株式会社東芝)27. 10月. 1998(27. 10. 98) 第65-67段落, 図6 (ファミリーなし)	21-23
A	JP, 9-293935, A(株式会社東芝)11. 11. 1997(11. 11. 97) 第184-189段落, 図23(ファミリーなし)	21-23
A	JP, 10-256645, A(松下電器産業株式会社)25. 9月. 1998(25. 09. 98) 第35, 36段落, 図7, 11(ファミリーなし)	13
A	JP, 4-144294, A(セイコーエプソン株式会社)18. 5月. 1992(18. 05. 92) 全文, 全図(ファミリーなし)	13
P, X	JP, 2000-31599, A(ソニー株式会社)28. 1月. 2000(28. 01. 00) 第21-22段落 (ファミリーなし)	1, 5